

Die Durchströmungsbedingungen
in den intrakraniellen Abschnitten der
Aa. vertebrales, der A. basilaris und
der Aa. cerebri posteriores, dargestellt
an Röntgenkontrastmittelaufnahmen

Peter Eberl-Lehmann

Liss
München
1906

AUS DER NEURORADIOLOGISCHEN ABTEILUNG
(Abteilungsvorsteher: Prof. Dr. K. Decker)
DER PSYCHIATRISCHEN KLINIK UND POLIKLINIK DER
UNIVERSITÄT MÜNCHEN
(Direktor: Prof. Dr. H. Hippus)

Die Durchströmungsbedingungen in den intrakraniellen Abschnitten der
Aa. vertebrales, der A. basilaris und der Aa. cerebri posteriores,
dargestellt an Röntgenkontrastmittelaufnahmen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfasst und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Peter Eberl-Lehmann
aus Eichenau

Eichenau 1985

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. H. Hippius

Mitberichterstatter:

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 16. Januar 1986

Meiner Frau Anikke gewidmet

Inhaltsverzeichnis

Seite

I.	Einleitung und Fragestellung	1
II.	Die Entwicklung der Vertebralisangiographie und ihrer technischen Durchführung	
1.	Zur Geschichte der zerebralen Angiographie	3
2.	Operative Methoden der Vertebralisangiographie	5
3.	Perkutane Methoden der Vertebralisangiographie	6
4.	Kathetertechnik der Vertebralisangiographie	7
5.	Indikationen zur Vertebralisangiographie	10
III.	Die Anatomie der Vertebralisverbindung	
1.	A. vertebralis	11
2.	A. basilaris	15
3.	A. cerebri posterior	18
IV.	Zur funktionellen Anatomie der Hirnarterien	22
V.	Zur Physiologie der Gehirndurchblutung	25
VI.	Material und Methode	28
VII.	Ergebnisse	32

1. Röntgenanatomische Werte	33
2. Die verschiedenen Verteilungsmuster des Kontrastmittelstromes im System der Aa. vertebrales, der A. basilaris und der Aa. cerebri posteriores	34
3. Die Variationen der A. basilaris und die Häufigkeit ihres Auftretens	39
4. Beschreibung der röntgenanatomischen Verhältnisse und der Kontrastmitteldichte bei den verschiedenen Formen der A. basilaris	41
5. Beschreibung der röntgenanatomischen Verhältnisse und der Kontrastmitteldichte im Vertebralisstromgebiet bei den verschiedenen Verteilungsmustern des Kontrastmittelflusses	51
VIII. Diskussion	
1. Diskussion von Material und Methode	63
2. Diskussion der einzelnen Ergebnisse	67
IX. Zusammenfassung	71
X. Literaturverzeichnis	73

I. Einleitung und Fragestellung

Die anatomischen Verhältnisse der grossen Arterien im Schädelinneren, welche die posterior gelegenen Abschnitte des zentralen Nervensystemes versorgen, wurden schon in früheren Jahren ausführlich untersucht.

Die A. vertebralis, die A. basilaris und die A. cerebri posterior stellen ein vom Arcus aortae ausgehendes und bis zum Okzipitalpol reichendes Gefässband dar, dessen einzelne Abschnitte hinsichtlich ihrer Besonderheiten und Varianten gut bekannt sind.

Die von den genannten Gefässen ausgehenden kleineren Äste wurden ebenso beschrieben, die Durchmesser und Längen charakteristischer Verlaufsstrecken festgehalten. Die Feststellung erscheint berechtigt, dass heute ein umfassender Überblick über die durch die A. vertebralis versorgten Bezirke des zentralen Nervensystemes gegeben werden kann (25).

Werden die Vertebralarterien nun katheterangiographisch dargestellt, so fallen bei der Auswertung der Aufnahmen Besonderheiten auf, die zu Überlegungen veranlassen, inwieweit die vorgegebenen anatomischen Verhältnisse den funktionellen Blutstrom zu beeinflussen vermögen.

Nach der Injektion von Kontrastmittel in die Vertebralarterie beobachtet man häufig an der Einmündungsstelle der kontralateralen Vertebralis am Ursprung der Basilaris eine Aussparung im Strom des Kontrastmittels, die vermutlich durch die anatomischen Gegebenheiten dieser Stelle hervorgerufen wird.

Ähnliche Strömungseffekte lassen sich bis in die hinteren Hirnarterien verfol-

gen. So kann der Fluss des Kontrastmittels nach dem Austritt aus der Vertebralarterie und dem Durchströmen der A. basilaris unterschiedlich auf die beiden Aa. cerebri posteriores verteilt werden.

Appliziert man zum Beispiel Kontrastmittel in die linke Vertebralis, so kann in einem Fall beobachtet werden, dass es bevorzugt in die rechte A. cerebri posterior gespült wird, in einem anderen Fall jedoch in die der Gegenseite, und schliesslich ist der dritte Fall einer gleichmässigen Durchspülung beider hinterer Hirnarterien denkbar.

Eine anschliessend beim jeweils gleichen Patienten vorgenommene Injektion in die rechte Vertebralarterie lässt einen Einstrom in die Aa. cerebri posteriores erkennen, der dem der vorangegangenen Untersuchung entspricht oder der davon aber völlig unterschiedliches Verhalten zeigen kann.

Es existiert also, trotz der anatomischen Konstanz der Vertebralisverbindung, eine funktionelle Trennung der links- und rechtsseitigen Stromgebiete. Dieser klinischen Beobachtung soll an Hand von angiographischen Betrachtungen nachgegangen werden, wobei das besondere Interesse auf die möglichen Verteilungsmuster des Kontrastmittelstromes gerichtet ist. Soweit die Aufnahmen ein solches erkennen lassen, soll auch der Frage nach den Bedingungen des Auftretens asymmetrischer Verteilungsbilder nachgegangen werden.

II. Die Entwicklung der Vertebralisangiographie und ihrer technischen Durchführung

1. Zur Geschichte der zerebralen Angiographie

Als Begründer einer röntgenologischen Kontrastmitteldiagnostik der Hirngefäße dürfen der portugiesische Neurologe Egas Moniz sowie sein Landsmann, der Neurochirurg Almeida Lima, angesehen werden (26,27,28).

Im Jahre 1927 gelang es, nach operativer Freilegung der A. carotis communis, eine Jod-Natrium-Lösung zu injizieren und eine befriedigende Darstellung von Hirngefäßen zu erreichen (26). Die ursprünglich im Tierversuch vorgenommene perkutane Kontrastmittelapplikation brachte zunächst keine verwertbaren Ergebnisse, weshalb operative Freilegungen der zuführenden Arterien allgemein bevorzugt wurden. Egas Moniz stellte 1933 als erster Untersucher die A. vertebralis dar, wobei die A. subclavia freigelegt und distal vorübergehend abgeklemmt war. Entgegen dem Blutstrom wurde dann das Kontrastmittel in die Vertebralarterie eingebracht.

Das von Caldas entwickelte Radiokarussell ermöglichte die Anfertigung der ersten Serienaufnahmen (28). Dieser 1933 mitgeteilte Fortschritt sowie die ersten von Ziedses des Planes eingeführten Versuche mit der Subtraktionstechnik erlaubten bald exakte Studien der zerebralen Gefäßversorgung (42). Die Beschreibung der Vaskularisierung von Hirntumoren ist mit dem Namen Lima verbunden (20). Olivecrona arbeitete angiographisch über Gefäßmissbildungen des Gehirnes (30).

Loman und Myerson haben 1936 die perkutane Karotisangiographie wiederaufgegriffen (22), die perkutane Angiographie der A. vertebralis geht auf Versuche Takahashis 1940 zurück, der sie als Routinemethode in die Klinik eingeführt hat. Zufällig punktierte man die Vertebralarterie bei schwierigen Angiographien der A. carotis. Zur klinischen Reife haben diese Methode vor allem die Arbeiten Deckers (4), Sugars, Holdens und Powells (38), und Lindgrens (21) gebracht, die verfeinerte Punktionstechniken entwickelten.

Die heute im klinischen Routinebetrieb durchgeführte perkutane Vertebralisangiographie verdankt ihre Entstehung im Jahr 1947 dem eigentlich zufälligen Geschick Radners, der anlässlich einer Linksherzkatheterisierung einen Katheter in die A. vertebralis einbrachte (34). Die anfangs als Zugangsweg noch operativ freipräparierte A. femoralis konnte nach Seldingers Entwicklung der perkutanen Kathetereinführungstechnik bedeutend schonender aufgesucht werden (36). Diese sogenannte Seldinger-Technik erfuhr bis heute ständige Fortentwicklung, wobei in der Neuroradiologie den besonderen Verhältnissen der vier grossen Hirnarterien Rechnung getragen wurde, indem angepasste Kunststoffkatheter eingeführt wurden, so von Hinck (14) und Mani (23).

Auch die Technik der Aufnahmeseite erfuhr ständige Verbesserung. Das alte Röntgenkarussell Caldas' wurde durch moderne Einrichtungen wie dem Decker-Wechsler abgelöst. Die in jüngster Zeit eingeführten digital gesteuerten Subtraktionsmethoden verbessern die Verarbeitung der Aufnahmen.

2. Operative Methoden der Vertebralisangiographie

Moniz und Lima gingen nach erfolglosen Punktionsversuchen dazu über, das jeweils darzustellende Gefäß operativ freizulegen. Im Falle der A. vertebralis bedeutet dies, dass man in Intubationsnarkose oder unter Lokalanästhesie die Arterie in ihrem ersten Abschnitt, also zwischen der Abgangsstelle aus der A. subclavia und dem Eintritt in das Foramen transversarium des sechsten Halswirbels, aufsucht und freilegt. Dieser Eingriff soll hier nur cursorisch wiedergegeben werden.

Im unteren Drittel des M. sternocleidomastoideus wird ein Hautschnitt gelegt. Die darunter befindlichen Strukturen drängt man ab, die tiefe Halsfaszie wird durchtrennt, das Tuberculum caroticum des sechsten Halswirbels dient der Orientierung; nach Abdrängen des M. scalenus ventralis und des M. longus colli spaltet man die hintere Halsfaszie und findet darunter die Vertebralarterie, ohne den begleitenden Venenplexus zu verletzen. Die nun freiliegende Arterie wird angeschlungen, die vorgesehene Punktionsstelle mittels einer Tabaksbeutelnaht gesichert. Die Punktion erfordert eine acht Zentimeter lange Kanüle mit einem Spezialschliff nach Decker, vorne um 45 Grad gebogen. Die Kanüle muss flach vorgeschoben, deren Lage überprüft werden. Nach der Angiographie verschliesst man die Operationswunde nach den Regeln der Chirurgie, wobei auch eine Drainage anzulegen ist. Zum üblichen Zeitpunkt bestellt man den Patienten ein, um die Fäden entfernen zu können.

3. Perkutane Methoden der Vertebralisangiographie

Aus noch zu erörternden Gründen hat man die operativen Techniken verlassen und ist dazu übergegangen, die A. vertebralis auf dem Wege der perkutanen Punktion aufzusuchen. Kurz seien die wichtigsten Techniken beschrieben:

- Punktion zwischen dem dritten und fünften Halswirbel. Nach Krayenbühl und Yasargil (18) wird der Kopf des Patienten rekliniert und die A. carotis communis nach lateral abgedrängt. Die schräg nach medial und kranial gerichtete Nadelspitze tastet die knöchernen Ränder der Foramina intertransversaria zweier benachbarter Halswirbel ab, z.B. C 3/4. Mittels eines kurzen Stosses gelangt man in das Gefäßlumen.

- Punktion zwischen dem Atlas und dem Hinterhaupt. Maslowski hat die laterale okzipitale Vertebralspunktion angegeben (24), die insofern vorteilhaft erscheint, als der Kopf des Patienten während der Untersuchung beweglich bleibt, und weil auch axiale Aufnahmen gemacht werden können. Als Punktionsstelle wählt man eine leichte Einziehung der Haut unmittelbar hinter der Spitze des Mastoides. In etwa vier bis fünf Zentimetern Tiefe verläuft das Gefäß horizontal am oberen Rand des Atlas im gleichnamigen Sulcus, wo man es zu treffen versucht.

- Punktion der A. subclavia, indirekte Darstellung der A. vertebralis. Morris und Shimidzu beschreiben diesen Weg (29,37). Bei gleichzeitiger Kompression der A. brachialis wird das Kontrastmittel in die direkt punktierte A. subclavia injiziert. Die Punktion erfolgt dabei supraclaviculär, im Gegensatz zu der von Pouyanne (33) angegebenen Einstichstelle unterhalb der Schlüsselbeinmitte.

4. Kathetertechnik der Vertebralisangiographie

Im Jahr 1970 hielt die Kathetertechnik einen zehnprozentigen Anteil an den zerebralen Angiographien. In den folgenden zwei Jahren stieg er rasch auf etwa 50 Prozent an und baute diesen Zuwachs bis heute auf nahezu 100 Prozent aus. Im folgenden wird dieses Verfahren zusammenfassend beschrieben und mit den vormaligen Techniken verglichen.

In der Regel legt der Untersucher den Zugangsweg über die A. femoralis, im Falle von Hindernissen in diesem Bereich oder in den Beckenarterien weicht er zur A. axillaris aus. Nach lokalanaesthetischer Vorbereitung wird mit einer dünnen Kanüle schonend punktiert.

Über einen Führungsdraht verbringt man einen Polyäthylenkatheter in das Gefäß und schiebt diesen unter Bildwandlerkontrolle zum Arcus aortae vor. Ebenso findet der Neuroradiologe zunächst das Abgangslumen der linken Vertebralarterie und hält diesen Schritt in einer Einzelaufnahme fest. Liegt ein hypoplastisches Gefäß vor oder zeigt sich eine Abgangsstenose, so wird der Katheter über den Truncus brachiocephalicus und die A. subclavia an die Abgangsstelle der rechten Vertebralis gelegt, wonach erneut eine Dokumentation durch eine Einzelaufnahme erfolgt. Die Darstellung eines hypoplastischen Gefäßes unterbleibt gewöhnlich, da das enge Lumen verlegt und damit eine gefährliche Minderdurchblutung der nachgeschalteten Gefäßbezirke hervorgerufen werden kann. Kommt die Katheterspitze im gesuchten Gefäß zu liegen, so wird sie während des gesamten Untersuchungsvorganges dort belassen, da ein wiederholtes Aufsuchen desselben Gefäßes eine Intimareizung und damit Spasmen der Wandmuskulatur mit folgenden temporären Ischämien auslösen kann. Die gefürchtete Einschwemmung nicht erkannten thrombotischen Materials kann dadurch verhindert

werden, dass die Katheterspitze vor und nach der Kontrastmittelinjektion nicht fortwährend gespült wird.

Ist nach kurzer Kontrastmittelinjektion erkennbar, dass die Durch- und Abflussverhältnisse den Anforderungen genügen, so wird unverzüglich die für die Aufnahmeserie notwendige Menge eingespritzt und durch Verschluss des Hahnes im Katheter belassen.

Ein Volumen von fünf Millilitern je Vertebralis, manuell in einer Zeitspanne von drei Sekunden appliziert, bewirkt in der Mehrzahl der Fälle eine gute Füllung der hinteren Hirnarterien und deren Aufzweigungen, vorausgesetzt, es handelt sich um normalweite Gefässe. Die Durchleuchtung ermöglicht eine gute Kontrolle der Abflussgeschwindigkeit.

Um den verschiedenen anatomischen Gegebenheiten, vorgegeben durch unterschiedliche Abgangswinkel oder Krümmungsradien, individuell gerecht werden zu können, stehen mehrere Modelle von Führungsdrähten und Katheterspitzen zur Verfügung. Verschiedene Katheterdurchmesser erlauben die Anpassung an unterschiedliche Gefässlumina.

Nach Abschluss der Aufnahmeserien zieht der Untersucher den Katheter langsam und stetig zurück. Anschliessend an die Entfernung des Systemes aus dem Gefäss ist eine zehnminütige Kompression der A. femoralis an der Einstichstelle notwendig; die früher übliche Sandsackauflage kann bei sorgfältigem Komprimieren entfallen. Nach einer Überwachungsdauer von etwa fünf Stunden kann der ambulante Patient entlassen werden. Im gegebenen Fall muss ein Anaesthesist die Vorbereitung, die Untersuchung und die Nachsorge überwachen.

Während des Untersuchungsablaufes liegt der Patient ruhig und unbeweglich auf

dem Tisch. Dieser ist in den Richtungen des Raumes voll beweglich ausgelegt, so dass der Patient in konstanter Lagerung verbleiben kann. Sind Änderungen in der Aufnahmetechnik vorzunehmen, wie z.B. das Kippen der Röhre zur Beurteilung langgestreckter Gefässverläufe, so beschränken sich die notwendigen Manipulationen auf die Aufnahmegeräte und den Tisch, auf welchem der Patient unverändert liegt. Auch kann eine eventuell notwendige Neueinstellung für Wiederholungsaufnahmen so rasch gefunden werden. Die Verwendung von Sichtwechseln verstärkt diese Vorteile.

Der zeitliche Abstand der einzelnen Bilder einer Serie ist variabel. Im Extremfall ist es möglich, bis zu sechs Aufnahmen in einer Sekunde zu belichten.

Speichert man mit Hilfe der Reststrahlung der Röhre den Ablauf der Untersuchung auf einem Magnetband, so steht dieses sofort für die Auswertung zur Verfügung. Der Entwicklungsprozess der Röntgenfilme muss nicht bis zum Ende abgewartet werden, da man sich bei der Entscheidung über das weitere Vorgehen auf die Magnetbandaufzeichnung stützen kann. Damit wird die Gesamtuntersuchungszeit kurz gehalten.

Ein Vergleich der operativen, bzw. der Punktionstechniken mit der Kathetermethode geht zugunsten der letztgenannten aus. Die zuerst angeführten Techniken erscheinen einerseits umständlich, weil zeitaufwendig, und andererseits für den Patienten risikoreich. Diese Verfahren weisen die Merkmale eines kleinen operativen Eingriffes auf, wobei auch das Narkoserisiko berücksichtigt werden muss.

Die Vertebralisangiographie in der beschriebenen Seldinger-Technik erfordert nur bei Vorliegen einer besonderen Indikation, z.B. im Falle einer Kontrastmit-

telallergie, eine Allgemeinnarkose; in der Mehrzahl der Fälle reicht eine Lokalanaesthesia an der Einstichstelle aus.

Für die Kathetermethode spricht nicht zuletzt auch die leichtere Erlernbarkeit. (19).

5. Indikationen zur Vertebralisangiographie

Im Rahmen von generalisierten Gefässerkrankungen, deren Symptome einen Einschluss des zentralen Nervensystemes in den Krankheitsprozess vermuten lassen, wird häufig die Indikation zur zerebralen Angiographie gestellt. Durch sie werden auch Gefäßmissbildungen, die ein Anfallsleiden als äusseres Erscheinungsbild zeigen, identifiziert. Weiterhin stellt sich die Vaskularisierung zerebraler Tumoren dar. Der Ursache einer Subarachnoidalblutung geht man mittels einer Panangiographie der Hirngefässe nach. Sinusthrombosen und posttraumatische arterio-venöse Fisteln lassen sich durch die Angiographie nachweisen. Zum Teil wird die Darstellung von Hirngefässen zu Hilfe genommen, wenn es um den Nachweis des Hirntodes geht.

Die Einführung des cranialen Computertomogrammes hat ohne Zweifel den Anwendungsbereich der zerebralen Angiographie eingeschränkt. Für viele spezielle Fragestellungen ist es jedoch nicht geeignet oder nicht präzise genug. Deshalb verbleibt in der Zukunft noch breiter Raum für angiographische Verfahren und für deren Weiterentwicklung, so der digitalen Subtraktionsverfahren.

III. Die Anatomie der Vertebralisverbindung

1. A. vertebralis

- Ursprung: Die A. vertebralis entspringt der A. subclavia an ihrer konvexen Seite, auf der rechten Seite in etwa 98% der Fälle, auf der linken Seite in zirka 95% (25). Variationen der Abgangsstelle finden sich selten, so ein gemeinsamer Stamm mit dem Truncus thyreocervicalis (rechts in 1%, links in 2% der Fälle), oder ein distal von diesem gelegener Ursprung (rechts in 0,4%, links in 0,1% der Fälle). Daneben wurden zweiwurzelige Abgänge beschrieben, aus dem Arcus aortae und der A. subclavia (rechts in 0,1%, links in 4%) (8).

- Verlauf: Der Verlauf der A. vertebralis kann in vier übergeordnete Abschnitte eingeteilt werden, die im folgenden mit I bis IV bezeichnet sind. Dabei unterscheidet man eine extrakranielle und eine intrakranielle Teilstrecke.

Der extrakranielle Abschnitt setzt sich aus der Pars praevertebralis (I) und der Pars vertebralis (II) zusammen. Es schliesst sich daran ein Übergangsteil mit dem Eintritt in das Foramen occipitale magnum an (III). Bis zur Vereinigung mit dem Gefäss der Gegenseite verläuft der intrakranielle Abschnitt (IV). Die unpaare A. basilaris setzt in der Medianen den Verlauf weiter in das Schädelinnere fort.

Extrakranieller Abschnitt: Nach ihrem Abgang zieht die A. vertebralis durch den M. longus colli, verläuft in kranialer Richtung dorsal vom M. scalenus anterior. In 87% der Fälle tritt sie in den Canalis costotransversarius des sechsten

Halswirbels ein . Liegen Variationen an der Ursprungsstelle der Vertebralis vor, so findet man häufig andere Eintrittsstellen in den knöchernen Kanal. Diese können im Querfortsatz des vierten Halswirbels in 0,5 %, in dem des fünften in 6,6 % und im siebten Halswirbel in 5,4 % der Fälle angeordnet sein (18).

Die Foramina transversaria weisen in 40 % links einen grösseren Durchmesser als rechts auf, in 30 % sind sie links und rechts gleich weit, und in 30 % ist der Durchmesser der rechten Seite grösser (25).

Die Durchmesser der Aa. vertebrales verhalten sich wie die der knöchernen Kanäle; man findet also häufiger auf der linken Seite den grösseren Gefässquerschnitt.

Der Canalis costotransversarius kann in 3 % der Fälle unten und hinten teilweise offen sein. Im Kanal begleitet der Plexus venosus vertebralis die Arterie, der mit den Halswirbelkörpervenen Anastomosen bildet. Nach medial steht die A. vertebralis in enger Beziehung zu den Processus uncinati.

Durch die Halswirbelquerfortsätze verläuft das Gefäss oftmals stark geschlängelt. Nach dem Austritt aus dem zweiten Halswirbel beschreibt sie einen nach lateral konvexen Bogen, passiert das Foramen costotransversarium des Atlas und zieht anschliessend in horizontalem Verlauf nach dorsal. Um die Hinterseite der Massa lateralis des Atlas im Sulcus arteriae vertebralis des Arcus posterior gewunden verlaufend bildet sie so die für die Kopfbewegungen notwendigen Reserveschlingen (15). Dieser Abschnitt ist über das Trigonum suboccipitale von dorsal zugänglich. Häufig steht er mit der A. carotis externa über Anastomosen zur A. occipitalis in Verbindung. Das Atlantookzipitalgelenk ist nach vorne hin unmittelbar benachbart.

Nach sagittalem Verlauf durchstösst das Gefäss die Membrana atlantooccipitalis posterior und zieht durch Dura und Arachnoidea, wobei der Übergang zum intrakraniellen Verlauf folgt.

Intrakranieller Abschnitt: Die A. vertebralis verlässt den Sulcus atlantis in dorsaler Richtung, biegt dann nach kranial und ventral um und erreicht das Foramen occipitale magnum. Dabei umgibt der Sinus atlantooccipitalis das Gefäss. Zur Vereinigungsstelle mit der kontralateralen Vertebralis ziehend kann sie entweder bogenförmig oder mehr oder weniger stark geschlängelt verlaufen. Dieser Bogen verläuft oft dorsalkonvex und sein Radius ist dann auf der rechten Seite grösser als links (18).

- Wichtige Äste der A. vertebralis

Extrakranieller Abschnitt: In individuell unterschiedlichem Ausmass kommen Muskeläste vor, die mit anderen Stromgebieten in Verbindung stehen können (3). In den Wirbelkanal treten Äste der Rami spinales ein und versorgen als Aa. radicales die Meningen. Andere stellen die Blutversorgung der Wirbelkörper und des Periostes sicher. In 40 % der Fälle ist ein Ramus meningicus posterior angiographisch darstellbar, der medial die Dura der hinteren Schädelgrube bis zur Falx cerebri über dem Tentorium cerebelli versorgt (5).

Intrakranieller Abschnitt: Unmittelbar vor dem Zusammenfluss beider Vertebrales zur A. basilaris verlässt in mediokaudaler Richtung die A. spinalis anterior den Abschnitt IV der A. vertebralis, vereinigt sich mit dem kontralateralen Gefäss und zieht dann als in der Medianen gelegenes unpaariges Gefäss nach kaudal an die Vorderfläche der Medulla oblongata. Sehr selten entspringt eine A. spinalis posterior der A. vertebralis oder der A. cerebelli inferior posterior.

Die A. cerebelli inferior posterior entspringt in 70 % der Fälle der A. vertebralis, in 10 % kommt sie aus der A. basilaris. Nicht nachgewiesen kann die A. cerebelli inferior posterior in 20 % der Angiographien. Häufig liegt eine Hypoplasie vor (8 bis 17 %) oder ein einseitiges Fehlen (in 10 %) (18). Variationen zeigen sich oft bei dieser Arterie; so sieht man die Lage des Ursprungsortes an der Vertebralis kaudal des Foramen magnum in 18 %, in dessen Höhe in 4 % oder kranial davon in 57 % der Fälle (17). Die Entwicklungsformen auf der linken bzw. der rechten Seite stehen oft in einem umgekehrten Verhältnis zueinander, so dass die Blutversorgung der hypoplastischen Seite durch das geschlängelt verlaufende Gefäß der Gegenseite mit wahrgenommen wird. Da die Arterie keinerlei knöcherne Fixationspunkte besitzt, kann der Verlauf bis zum Abgang der Gefäße zum Plexus chorioideus vielgestaltig sein (11).

2. A. basilaris

Aus dem Zusammenfluss der Endstrecken der linken und rechten A. vertebralis wird die A. basilaris geformt. Die Lage der Vereinigungsstelle ist sehr variantenreich. In 72 % der Fälle findet man sie auf der Vorderseite der Medulla oblongata, in 19 % auf der Pons und in 9% an der Grenze zwischen Medulla und Pons (10). Auch ist der Verlauf von dieser Stelle des Zusammenstromes bis zur Aufteilung in die Endäste der Vertebralis, die hinteren Hirnarterien, auf unterschiedliche Weise gestaltet, erlaubt jedoch eine gewisse Einteilung.

Auf die Medianebene bezogen und bei Betrachtung von okzipital zeigt er sich geradlinig in 54 % der Fälle, rechts konkav in 30 %, links konkav in 10 % und im Verlauf durch die Cisterna pontis s-förmig gekrümmt in 6 % (25).

Es wird angenommen, dass diese unterschiedlichen Kurven durch die links und rechts differenten Durchmesser der Vertebralis hervorgerufen werden, wobei die konkave Seite des Basilarisbogens derjenigen Vertebralis mit dem grösseren Durchmesser gegenüber liegen soll (12). Ein mehr s-förmiger Verlauf kann als Elongation bei Arteriosklerose aufgefasst werden. Wenn gelegentlich eine Inselbildung im Gefäßverlauf gefunden wird, so handelt es sich dabei um ein doppelt angelegtes Lumen der Basilaris (25).

Gewöhnlich liegt das rostrale Ende der Arterie in Höhe der Processus clinoides posteriores (in 51 %). Dabei weist die Bifurkation oft eine Schlingenbildung oder sogenannte Omegaform auf. Oberhalb der Processus endetsie in 30 % mit v-förmiger Bifurkation, unterhalb dieser in 19 % der Fälle w-förmig. Zum Clivus hin beschreibt die Basilaris einen konvexen Bogen (21).

Die Länge der Arterie beträgt im Mittel 30 bis 35 Millimeter, ihr Durchmesser liegt bei 4,1 bis 4,5 Millimetern, wobei dieser nach rostral hin geringfügig zunehmen kann (25).

- Wichtige Äste der A. basilaris

Rami ad pontem: Es werden median und paramedian abgehende Äste unterschieden, daneben noch die Aa. circumflexae, welche die Pons seitlich umfassen (9).

Die A. labyrinthi: Diese kann auch der A. cerebelli inferior entstammen. Sie zieht mit dem N. facialis und dem N. vestibulocochlearis zum Porus acusticus internus.

Rami retroolivares: Sie dringen in die Fossa paraolivaris ein.

Die Arteria cerebelli inferior anterior: Selten einmal aus der Vertebralis entspringend stammt sie in den meisten Fällen (in 80 %) aus dem unteren Drittel der Basilaris, gelegentlich besteht ein gemeinsamer Ursprung mit einer A. cerebelli inferior (17). In Schlingen verläuft das Gefäß in Richtung des Kleinhirnbrückenwinkels und des Porus acusticus internus. Es teilt sich in der horizontalen Kleinhirnfissur in einen medialen und lateralen Ast auf, um die unteren vorderen Kleinhirnnareale zu versorgen. Im Verlauf wird ein pontines und ein flocculäres Segment von den Hemisphärenästen unterschieden. Dabei sollen die Schlingelungen des Gefäßes auf der Seite stärker ausgeprägt sein, auf welcher die A. basilaris von der Mittellinie abweicht (12).

Die A. cerebelli superior: Diese Arterie zeichnet sich durch die Konstanz ihres Auftretens aus. In 85 % der Fälle besteht kurz vor der Bifurkation der Basilaris ein einziger Stamm. In 4 bis 5 % der Fälle wurzelt dieser in der A. cerebri posterior (18). Die Gefäßdurchmesser sind in 75 % der Fälle links und rechts

identisch (25). Sogleich nach seinem Abgang zieht das Gefäß, die Pedunculi cerebelli lateral umfassend, nach aussen. Im Verlauf wird ein vorderes pontines Segment, ein lateromesenzephalisches oder ambientes Segment und ein quadrigeminales Segment unterschieden (7). In der Vierhügelregion erfolgt die Endaufteilung in die Hemisphärenäste, einen lateralen marginalen Ast und in die A. vermiana superior. Die Versorgungsgebiete erstrecken sich auf Teile des Mittelhirnes, die Oberfläche des Kleinhirnes und auf obere Anteile des Vermis.

Die Kleinhirnarterien weisen die Besonderheit auf, dass sie untereinander gut verbunden sind. Bei Hypoplasie einzelner Abschnitte vermag die kompensatorische Entwicklung der kontra- oder ipsilateralen Arterien die Blutversorgung zu gewährleisten. Man spricht so von einem Circulus arteriosus cerebelli (7).

3. A. cerebri posterior

Die hintere Hirnarterie geht entwicklungsgeschichtlich auf einen Endast der A. carotis interna zurück, dessen proximales Segment sich verengt und aus dem die A. communicans posterior hervorgeht. Der distale Abschnitt gewinnt Anschluss an die Basilarisstrombahn und stellt funktionell den Endast der A. vertebralis dar. Wegen dieser Zwischenstellung im Versorgungsgebiet der Karotiden und der Vertebrales bezeichnet man sie auch als Grenzarterie (18). Der A. communicans posterior kommt in der Fetalperiode grosse Bedeutung zu. Sie besitzt angiographisch in 75 % der drei bis neun Monate alten Foeten ein weites Lumen, hingegen nur bei 29 % der Erwachsenen (7).

Die anatomischen Befunde zeichnen folgendes Bild: Die hintere Hirnarterie entspringt in 72 % der Fälle der A. basilaris, in 8% besteht gemeinsame Herkunft aus Carotis und Basilaris, also ohne Anlage einer Communicans posterior, und vorwiegend aus der Carotis interna in 19 % der Fälle (25). Die angiographischen Befunde sind hierbei nicht sicher zu beurteilen. Man nimmt an, dass in rund einem Drittel der Carotisangiographien die A. cerebri posterior mit zur Darstellung kommt (18). Fehlt die Abbildung der hinteren Hirnarterie im Vertebralisangiogramm, so muss man auf eine hypoplastische Pars basilaris des Gefässes schliessen.

- Verlauf: Zwei grosse Abschnitte werden unterschieden, und zwar die Pars circularis, welche auch als zisternales Segment bezeichnet wird, die durch die Cisternae interpedunculares, ambiens und laminae quadrigeminae läuft, und die Pars corticalis, welche die zur Hirnrinde gerichtete Gefässtrasse darstellt,

deren Ziel sich vor allem medial an der Unterfläche des Okzipitalpoles befindet (18). Als Hauptstamm gilt die Pars circularis.

An diesem wiederum lassen sich drei übergeordnete Teilstrecken beschreiben: der pedunculäre oder proximale Abschnitt, der dem Klivus benachbart liegt. Er nimmt die A. communicans posterior auf. Nach einem anderen Schema endet hier die Pars praecommunicalis und beginnt die Pars postcommunicalis der A. cerebri posterior. Es schliesst ein ambientes oder zirkuläres Teilstück an. Hier verläuft die Arterie in der Cisterna ambiens im Mittelhirn tief in dem Gyrus parahippocampalis. Es besteht an dieser Stelle eine enge Beziehung zum Tentoriumrand. Der quadrigeminale Abschnitt stellt das dritte Teilstück dar. Die Arterie umzieht den Hirnstamm und kommt auf der Oberseite der Lamina quadrigemina zu liegen. Unter dem Splenium hindurch zieht sie nach hinten.

- Wichtige Äste der hinteren Hirnarterie: Entsprechend dem Versorgungsgebiet benennt man vier Hauptastgruppen (18).

Die Gruppe der kortikalen Äste, bestehend aus der A. parietooccipitalis, der A. calcarina und der A. occipitalis lateralis. Die Gruppe der thalamischen Äste, beschrieben als Aa. thalamoperforantes anteriores et posteriores. Die Arteriengruppe zu den Plexus chorioidei, und zwar die A. chorioidea medialis und lateralis mit feineren Ästen zum Nucleus dorsolateralis des Thalamus. Zuletzt die Gruppe kleinerer Äste, welche das Mesencephalon mitversorgen.

Das Versorgungsgebiet erstreckt sich somit vom Okzipitalpol über die Sehrinde, über Teile des Temporallappens in die Tiefe bis zu den dorsolateralen Kerngebieten des Thalamus.

Die Abbildungen 1 und 2 stellen vereinfacht die anatomischen Verhältnisse dar.

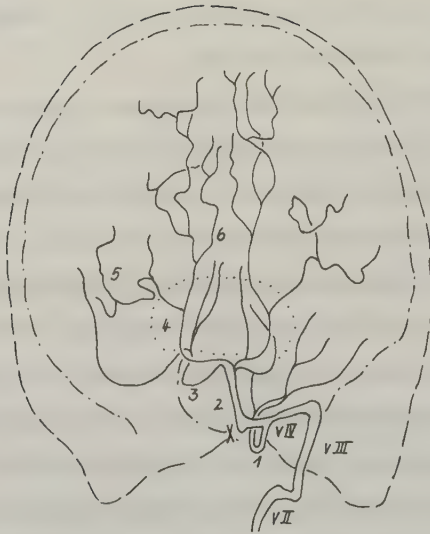


Abbildung 1: Anterior-posteriores Bild der A. vertebralis und der nachgeschalteten Gefäße. Skizziert nach Krayenbühl und Yasargil (18)

V II, III: A. vertebralis, Abschnitt II und III

V IV : A. vertebralis, intrakraniell

1 : A. cerebelli inferior posterior

2 : A. basilaris

3 : A. cerebelli superior

4 : A. cerebri posterior

5 : A. temporooccipitalis

6 : A. occipitalis interna

X : Einmündungsstelle der kontralateralen Vertebralis

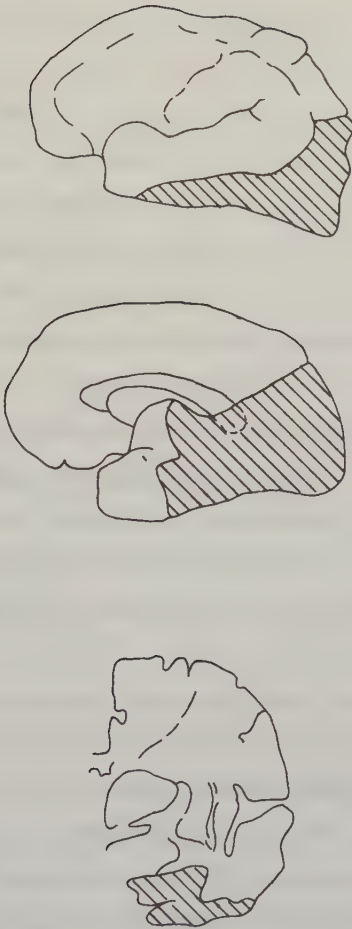


Abbildung 2: Versorgungsgebiet der A. cerebri posterior, oben Ansicht von lateral, Mitte von medial, unten aus sagittaler Richtung. Skizziert nach Krayenbühl und Yasargil (18).

IV. Zur funktionellen Anatomie der Hirnarterien

Wie oben verschiedentlich angedeutet wurde sind für das Verteilungsmuster der zerebralen Gefäßversorgung vielfältige Varianten oder Anomalien charakteristisch. Diese können im allgemeinen nicht als pathologisch angesehen werden, stellen jedoch möglicherweise eine Prädisposition zu bestimmten neurologischen Ausfällen dar, wenn sie in Kombination mit zufällig hinzutretenden Erkrankungen der Gefäße vorkommen (32). Im wesentlichen handelt es sich um drei bedeutende anatomische Strukturen, die für den Ausgang pathologischer Gefäßprozesse bestimmend sein können. Es ist anzunehmen, dass diese funktionellen Strukturen auch das Verteilungsmuster der zerebralen Blutversorgung gefäßgesunder Menschen vom klassischen Bild abweichen lassen können.

Dabei handelt es sich um die Ausbildung des Circulus arteriosus Willisii, um die Anzahl und Anordnung der leptomeningealen Anastomosen und um die spezielle intrazerebrale Gefäßarchitektur (32).

- Der Circulus arteriosus cerebri (Willisi): Er stellt einen geschlossenen Gefäßkranz an der Hirnbasis dar und ermöglicht arterielle Verbindungen zwischen der A. carotis und dem vertebrobasilären System. Geht man vom klassischen Gefäßmuster aus, so ist die Blutversorgung beider Hemisphären sichergestellt und kein Bedarf für einen Kollateralkreislauf ersichtlich. Befinden sich darin aber z.B. hypoplastische Abschnitte, spielen die Kollateralen eine wichtige Rolle. Ein Kollateralkreislauf kann so zwischen der rechten und linken Hälfte des Circulus oder zwischen der A. carotis und dem vertebrobasilären Stromgebiet einsetzen. Man trifft den Circulus arteriosus sehr vielgestaltig an. Den einzelnen Varianten

kommt nicht der gleiche Stellenwert zu.

Eine Aplasie des gesamten Circulus findet man in 6 %, eine Hypoplasie in 27,4 %, eine Duplikation in 18,9 % und das fetale Gefässmuster in 14,6 % der untersuchten normalen Gehirne (1).

Anomalien auf Teilstrecken weisen einen hohen Grad statistischer Varianz auf. Es zeigt sich bei deren Betrachtung eine abschnittsweise Hypoplasie in 82 % der untersuchten Fälle, das normale Schema trat in nur 18 % auf (15).

- Die leptomerinealen Anastomosen: Dabei handelt es sich um in der Entwicklungsgeschichte angelegte und in das erwachsene Gehirn mitgenommene End-zu-End Anastomosen grösserer Arterien auf dem Niveau der Pia mater des Grosshirnes und des cerebellaren Kortex (6). Sie haben normalerweise keine Funktion, da in ihnen kein Druckgradient besteht, und sie sind relativ gering an der Zahl. In der Tiefe der Sulci bestehen aber zahlreiche Verbindungen der grösseren Arterien untereinander, die effektiv wirksam sein können. Verbindungen lassen sich nachweisen zwischen der A. cerebri media und der A. cerebri anterior in den Sulci praecentrales, dem Sulcus centralis und parietalis anterior, hier als End-zu-End Anastomosen; zwischen der A. cerebri media und der A. cerebri posterior, ebenfalls End-zu-End Anastomosen; zwischen der A. cerebri anterior und der A. cerebri posterior in Höhe der vorderen Spitze des Sulcus parietooccipitalis (6).

- Die intrazerebrale Gefässarchitektur: Mit diesem Begriff lassen sich die regional unterschiedliche Gefässdichte, die Art und Weise der Endaufteilungen und die Verlaufsrichtung der tiefen intraparenchymatös verlaufenden Gefässe zusammenfassen, deren jeweilige Ausprägung individuell schwanken kann und deren Be-

schreibung hier nicht wiedergegeben werden soll (6).

V. Zur Physiologie der Gehirndurchblutung

Das Gehirn besitzt einen Anteil von annähernd 2 % der Gesamtkörpermasse. Es beansprucht hingegen 13 % des Herzzeitvolumens und benötigt 19 % der gesamten Sauerstoffaufnahme des Körpers, gemessen unter Ruhebedingungen (43).

Es zeichnet sich durch eine hohe Kapillardichte aus, die 1000 bis 4000/mm² für die graue und etwa 300/mm² für die weisse Substanz beträgt (43).

Die normale und ungestörte Funktion der Gehirnzellen setzt voraus, dass ein ununterbrochenes Blut- und damit Sauerstoffangebot zur Verfügung steht. Das Kapillarendothel stellt die Blut-Hirn-Schranke dar und muss gegen Beschädigung durch Blutdruckspitzen entsprechend geschützt werden können, da ihm die Kontrolle der transkapillären Transportfunktion unterliegt.

Der cerebrale Blutfluss (CBF) muss also auf einem Niveau gehalten werden, das eine Mindestversorgung garantieren und Endothelschäden verhindern kann. Der CBF unterliegt einer komplexen Autoregulation, welche in bestimmten Bereichen unabhängig von den Stell- und Regelmechanismen des Körperkreislaufes arbeitet.

Mitbestimmend für die physiologische Gehirnfunktion sind die Druckverhältnisse im Inneren der knöchernen Schädelkapsel, deren wichtigste Determinanten die ungestörte Liquorzirkulation, das konstante Hirnvolumen und die autoregulierte Gehirndurchblutung sind.

Der Gehirnkreislauf arbeitet über weite Bereiche autonom, das heisst, unabhängig vom Blutdruckverhalten des Gesamtkörperkreislaufes. Dabei wird der arterielle Mitteldruck als Regelgrösse in den Gehirnarterien konstant gehalten. So

machen sich Verluste von etwa 30 % des Blutvolumens nicht durch eine Abnahme des CBF bemerkbar, obwohl dabei der arterielle Mitteldruck des Körperkreislaufes um 60 % sinkt und das Herzzeitvolumen nur noch 40 % des Ausgangswertes beträgt.

Der CBF verhält sich also nicht proportional zu Änderungen des Herzzeitvolumens, sondern wird in einem Bereich von 70 bis 140 mm Hg arteriellen Mitteldruckes konstant gehalten. Diese Werte gelten für den kreislaufgesunden Menschen. Davon stellt die wichtigste Ausnahme der Patient mit Hypertonie dar, bei dem die Grenzen der Autoregulation nach oben verschoben sind. Die Untergrenze liegt bei 130, die Obergrenze bei 170 mm Hg. Daraus geht hervor, dass diese Patienten bei allzu raschen Blutdruckabfällen zerebral gefährdet sein können (16).

Das System der Autoregulation arbeitet in Abhängigkeit der Sauerstoff- und Kohlendioxidpartialdrucke. Sind diese Werte im Normbereich, so erfolgt bei fallendem oder steigendem systemischem arteriellem Blutdruck keine oder nur eine unwesentliche Änderung des CBF.

Wird jedoch ein Kohlendioxidpartialdruck von 70 mm Hg vorgegeben, so setzt die Autoregulation aus, und der CBF folgt linear den systemischen Blutdruckschwankungen. In diesem Bereich werden Permeabilitätsstörungen an den Kapillarmembranen hervorgerufen, die die physiologische Funktion der kleinen Gefäßmuskeln beeinträchtigen. Kohlendioxidpartialdrucke über 80 mm Hg bewirken eine maximale Vasodilatation (39).

Eine Anhebung des Kohlendioxidpartialdruckes um 1 mm Hg ruft eine Erhöhung des CBF um etwa 3 ml/100 g/min hervor. Umgekehrt nimmt der CBF um etwa

1,5 ml/100 g/min ab, wenn der Kohlendioxidpartialdruck um 1 mm Hg gesenkt wird.

Für 40 mm Hg Kohlendioxidpartialdruck beträgt der Normalwert der Gehirndurchblutung 55 ml/100 g/min.

Werte von 20 mm Hg durchbrechen die maximale Vasokonstriktion, da der dabei resultierende extrem niedrige CBF eine Zellhypoxie mit folgender lokaler Laktatazidose hervorruft, die wiederum die Gefäße weitzustellen vermag.

Wie man annimmt, stehen hinter den Mechanismen der Autoregulation des CBF metabolische Vorgänge auf zellulärer Ebene, wobei in Abhängigkeit von Kohlendioxidpartialdruckänderungen entstehende Änderungen des pH-Wertes, auch hervorgerufen durch lokale Pyruvat/Laktatänderungen, entsprechende Vasomotionen bewirken (13).

Dabei ist die mechanische Komponente in myogenen Reaktionen der kleinen präkapillären Blutgefäße zu suchen. Diese sind sowohl für die biochemisch vermittelte Regulation als auch für besonders rasches Ansprechen bei Auftreten von Blutdruckspitzen verantwortlich. Plötzliche Differenzen im transmuralen Druck werden durch entsprechendes Relaxieren oder Tonisieren beantwortet (2).

VI. Material und Methode

Zur Auswertung wurden die Unterlagen von insgesamt 59 angiographischen Untersuchungen der A. vertebralis herangezogen, die in der Neuroradiologischen Abteilung der Psychiatrischen Klinik der Universität zur Durchführung kamen. Es handelt sich dabei um Vertebralisdarstellungen im Rahmen von Viergefäßangiographien, das heisst, dass auch die Carotiden dargestellt wurden.

Es soll untersucht werden welche Wege der Fluss des Kontrastmittels durch die Aa. vertebrales, die A. basilaris und die Aa. cerebri posteriores beschreibt, wobei die Aufnahmeserien der linken mit denjenigen der rechten Vertebralis zu vergleichen sind. In den Ergebnissen wird festgehalten welche Gehirnseite bevorzugt mit dem Kontrastmittel beschickt ist. Die röntgenanatomischen Verhältnisse kommen hierbei zur Darstellung; ihr möglicher Einfluss auf die gefundenen Verteilungsmuster ist zu besprechen.

Nach den weiter unten angegebenen Richtlinien wurden die zur Verfügung stehenden Röntgenfilme ausgewählt und nach einem festgelegten Schema vermessen.

Die erhobenen Daten umfassen:

- Die Durchmesser der grossen Arterien, und zwar der A. vertebralis, der A. basilaris und der A. cerebri posterior. Diese werden an den in der Abbildung 3 gekennzeichneten Punkten gemessen. Dabei wird der radiologische Innendurchmesser der Gefässe betrachtet, das heisst, der Randstrom des Kontrastmittels wird als Grenze aufgefasst.
- Neben den Gefässdurchmessern wird der Winkel angegeben, den der Abschnitt

IV der A. vertebralis mit der A. basilaris bildet.

- Aus der Abbildung 3 gehen auch die Punkte hervor, an denen die optische Dichte des Röntgenkontrastmittels in den untersuchten Arterien gemessen wurde. Die durch die Röntgenstrahlung hervorgerufene Schwärzung des Röntgenfilmes wurde über dem Gefäß mit Hilfe eines Dichtemessgerätes untersucht. Hierbei ist es notwendig, eine sogenannte Untergrundkorrektur vorzunehmen, da sowohl das kontrastmittelgefüllte Gefäß als auch die davor und dahinter liegenden knöchernen Strukturen mit den Weichteilen auf den Röntgenfilm projiziert werden.

Zu diesem Zweck wird die optische Dichte an den definierten Messpunkten ohne Kontrastmittelfüllung der Gefäße, also auf den Übersichtsaufnahmen, festgehalten.

Dann erfolgt die Dichtemessung an den gleichen Punkten nach Kontrastmitteldiagnostik. Die beiden Dichtewerte werden nun voneinander subtrahiert. Daraus resultiert dann der untergrundkorrigierte Wert.

Diese korrigierten Werte jeder Aufnahmeserie werden miteinander verglichen und führen zu einer Aussage über die Stärke der Kontrastmittelfüllung in den beiden hinteren Hirnarterien.

Die in der jeweils dargestellten A. vertebralis bestehende Dichte wird als 100 % angesehen und die Dichte in den nachgeschalteten Gefäßen relativ dazu angegeben. Damit soll der Einfluss der kontralateralen Vertebralis beurteilt werden. Die sich aus der Untersuchung ergebenden Werte und Verteilungsmuster sind tabellarisch wiedergegeben.

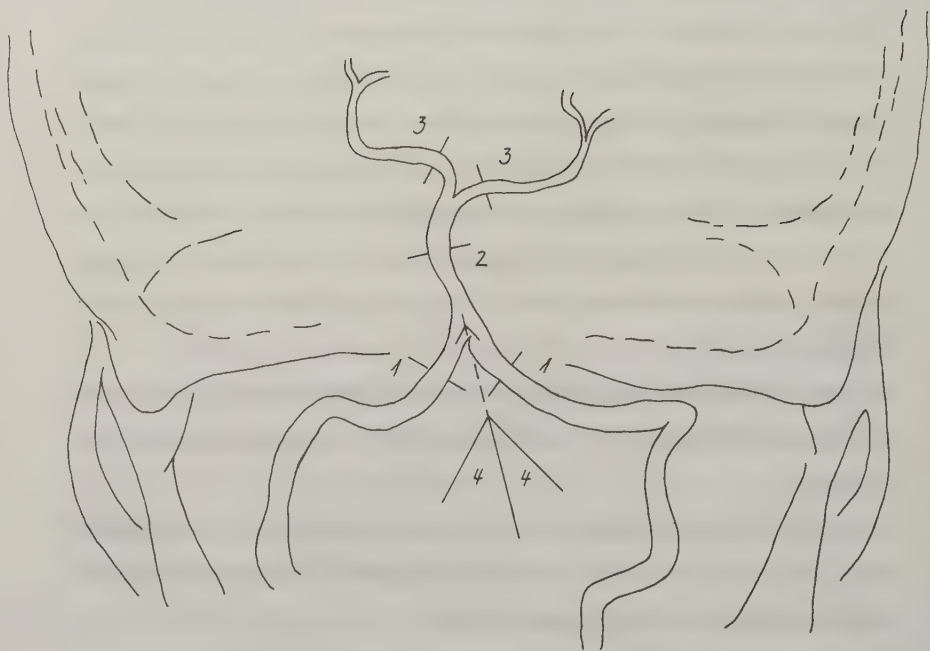


Abbildung 3: Lage der Messpunkte für die Ermittlung der Gefäßdurchmesser, der optischen Dichten in den Gefäßen und der Mündungswinkel der A. vertebralis in die A. basilaris. Es ist bezeichnet: -1- A. vertebralis, -2- A. basilaris, -3- A. cerebri posterior und -4- Mündungswinkel.

Für die Auswahl der Aufnahmen werden folgende Bedingungen festgelegt:

- Es darf sich kein neuroradiologisch pathologischer Befund ergeben haben. Gefässanomalien oder raumfordernde Prozesse sind ausgeschlossen.
- Alle Angiographien müssen von ein und demselben Untersucher durchgeführt worden sein. Da die Kontrastmittelinjektion von Hand erfolgt, soll auf diese Weise eine Standardisierung erreicht werden.
- Auf dem während der Untersuchung mitgeschriebenen EKG-Streifen dürfen keine Herzrhythmusstörungen nachweisbar sein. So kann ein gleichmässiges Anfluten des Kontrastmittles mit dem Pulsstrom angenommen werden.
- Die Beurteilung der kleineren Arterien soll möglich sein.
- Der Kopf des Patienten darf sich während der Aufnahmeserie nicht bewegt haben.
- Die verschiedenen Serien der rechten und linken Vertebralarterien müssen vergleichbar sein. In der Zeiteinheit sollten vergleichbare Serienabläufe gegeben sein. Aus der linken und rechten Serie müssen Aufnahmen gefunden werden, die hinsichtlich ihres Entstehungszeitpunktes und ihrer Kontrastmittelfüllung miteinander verglichen werden können.
- Um einen angiographisch nachweisbaren Einfluss der Karotisstrombahn auf die Strömungsverhältnisse in den hinteren Hirnarterien ausschliessen zu können, wurden alle Aufnahmen mit einer sichtbaren, funktionell offenen A. communicans posterior zurückgelegt. Für diesen Nachweis mussten auch Aufnahmen der Carotiden vorliegen.

VII. Ergebnisse

Im folgenden wird zunächst auf die allgemeinen Ergebnisse eingegangen, das heisst die radiologisch anatomischen erhebbaren Werte angeführt. Hierzu zählen die Durchmesser der Aa. vertebrales in ihrem letzten Abschnitt links und rechts, die Durchmesser der A. basilaris und die Durchmesser der Aa. cerebri posteriores.

Dabei handelt es sich um die Innendurchmesser der genannten Gefässe, da das kontrastmittelgefüllte Lumen auf dem Röntgenfilm abgebildet ist. Daraus ist kein Hinweis auf die Wandstärke und damit auf den Aussendurchmesser abzulesen.

Die verschiedenen Abbildungsformen der A. basilaris kommen zur Darstellung, aufgeschlüsselt nach dem gefundenen Verteilungsmuster des Kontrastmittelstromes und den jeweiligen anatomischen Daten zugeordnet.

Die verschiedenen Verteilungsmuster des Kontrastmittelstromes stellen den letzten Punkt der Ergebnisse dar. Beschrieben werden die einzelnen Typen, die zugehörigen röntgenanatomischen Ergebnisse und die prozentuale Abnahme der Kontrastmitteldichte im vertebrobasilären System in bezug auf die Dichte in der A. vertebralis.

1. Röntgenanatomische Werte

Die Innendurchmesser der Aa. vertebrales in ihrem letzten Abschnitt betragen durchschnittlich 4,48 mm für das linke und durchschnittlich 4,18 mm für das rechte Gefäss.

Im Mittel ergibt sich für die A. basilaris ein Innendurchmesser von 3,33 mm.

Die Lumina der Aa. cerebri posteriores wurden für das linke Gefäss zu durchschnittlich 2,58 mm und für das rechte Gefäss zu durchschnittlich 2,52 mm bestimmt.

Der Mündungswinkel zwischen den Vertebrales und der Basilaris beläuft sich links auf durchschnittlich 63,22° und rechts auf durchschnittlich 72,97°. Nach diesen Angaben streuen die Werte für die Mündungswinkel sehr breit.

In der Tabelle 1 sind die erhobenen röntgenanatomischen Daten zusammengefasst.

Tabelle 1: Allgemeine röntgenanatomische Werte der Gefässdurchmesser und der Mündungswinkel.

n=59	Acpl	Acpr	Abas	Avli	Avre	W-li	W-re
d	2,58	2,52	3,33	4,48	4,18	63,22	72,97
s	0,64	0,59	0,66	0,79	0,78	26,95	27,97

Es bedeutet: -n- Fallzahl, -d- Durchmesser, -s- Standardabweichung, -Acpl- A.cerebri posterior links, -Acpr- A. cerebri posterior rechts, -A. bas- A. basila-

ris, -Avli- A. vertebralis links, -Avre- A. vertebralis rechts, -W-li- Mündungswinkel links, -W-re- Mündungswinkel rechts.

2. Die verschiedenen Verteilungsmuster des Kontrastmittelstromes im System der Aa. vertebrales, der A. basilaris und der Aa. cerebri posteriores

Wie eingangs erläutert beschreibt der Kontrastmittelstrom bei seinem Fluss durch das vertebrobasiläre System oft eigenartige Wege.

Bei der Darstellung einer Vertebralarterie erscheint das Kontrastmittel in variabler Weise in den hinteren Hirnarterien. Er kann symmetrisch oder asymmetrisch verteilt sein.

Dieses Verteilungsmuster wird nun angegeben und in der Tabelle 2 zusammenfassend dargestellt. Es ist dazu notwendig, einen Schlüssel einzuführen. Dieser Schlüssel besteht aus einer Ziffernkombination, die im folgenden erläutert wird. Die erste der beiden Ziffern steht für die linke dargestellte Vertebralis, die zweite für das rechte Gefäß. Mit anderen Worten: es sind die linken bzw. rechten Aufnahmeserien bezeichnet. Dabei bedeutet Ziffer 1, dass die linke A. cerebri posterior bevorzugt mit Kontrastmittel gefüllt wird, die Ziffer 2, dass dies bei der rechten Posterior der Fall ist. Steht die Ziffer 3, so zeigt sich kein Unterschied im Hinblick auf die Füllung in den beiden hinteren Hirnarterien.

Werden beide Seiten im Vergleich betrachtet, so ergeben sich daraus insgesamt neun Kombinationsmöglichkeiten. Für diese Kombinationen lauten die jeweiligen Ziffernkombinationen: 1-1, 1-2, 1-3, 2-1, 2-2, 2-3, 3-1, 3-2 und 3-3.

Als Beispiel wird die Kombination 1-3 erläutert. Erste Ziffer: "1"; sie besagt, dass in der linken Aufnahmeserie die linke A. cerebri posterior bevorzugt mit Kontrastmittel beschickt wird. Zweite Ziffer: "3"; sie drückt aus, dass in der rechten Bildfolge kein Unterschied zwischen der Füllung der linken und rechten A. cerebri posterior festzustellen ist.

In der Tabelle 2 ist die Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Verteilungsmuster wiedergegeben. Die Kombination 1-1 ist in 11 Fällen, entsprechend 18,64 % anzutreffen. In 13 Fällen oder in 23,03 % ergibt sich die Kombination 1-2, hingegen nur in einem Fall, das sind 1,69 %, die Kombination 1-3.

12 Fälle oder 20,34 % weisen die Kombination 2-1 auf, 18 Fälle oder 30,51 % die Kombination 2-2 und zwei Fälle, entsprechend 3,39 %, die Kombination 2-3. In zwei Fällen oder in 3,39 % wurde die Kombination 3-1 gefunden. Die verbleibenden Kombinationen 3-2 und 3-3 kamen nicht vor.

Tabelle 2: Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Verteilungsmuster bzw. Kombinationen

K	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3
n	11	13	1	12	18	2	2	-	-
%	18,64	22,03	1,69	20,34	30,51	3,39	3,39	-	-

Es bedeutet: -n- Fallzahl, -K- Kombination.

Die folgenden Abbildungen 4, 5 und 6 zeigen die unterschiedliche Verteilung des Kontrastmittelstromes auf die hinteren Hirnarterien .

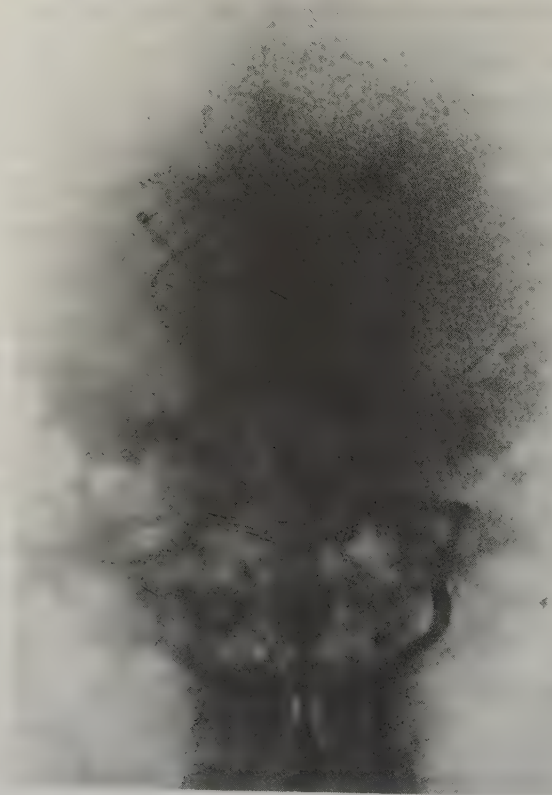


Abbildung 4: Vertebralisdarstellung links, bevorzugter Kontrast mittelstrom in die rechte Posterior.



Abbildung 3: Vertebrae-darstellung links, bevorzugter Kontrastmittelstrom in die linke Posterior.



Abbildung 6: Vertebralisdarstellung rechts, gleichmässige Kontrastmitteldurchströmung beider Posteriores.

3. Die Variationen der A. basilaris und die Häufigkeit ihres Auftretens

In der makroskopischen Anatomie sind verschiedene Formen der A. basilaris beschrieben (25). Diese lassen sich auch angiographisch nachweisen. Dabei handelt es sich um den vielgestaltigen Verlauf, der geradlinig, rechts- oder linkskonvex gekrümmt oder s-förmig gefunden werden kann.

Es ergeben sich die Häufigkeiten (Tabelle 3): Geradliniger Verlauf bei 14 Fällen oder 23,73 %, ein rechtskonvexes Aussehen bei 23 Fällen oder 38,89 %, ein linkskonvexes Gefäss bei 18 Fällen, entsprechend 30,51 %, eine S-form bei 3 Fällen oder 5,08 % und ein umgekehrtes S in einem Fall, also in 1,69 %.

Stellt man diesem Ergebnis die einzelnen Verteilungsmuster des Kontrastmittelstromes gegenüber, so weist die Kombination 1-1 viermal geradlinige, fünf rechtskonvexe und zwei linkskonvex verlaufende Varianten auf. Für die Kombination 1-2 sieht man drei geradlinig, vier rechtskonvex, fünf linkskonvex und ein s-förmig verlaufendes Gefäss. Bei der Kombination 1-3 tritt nur eine rechtskonvexe Basilaris auf. Die Kombination 2-1 besitzt drei geradlinige, sechs rechtskonvexe und drei linkskonvexe Varianten. Im Falle der Kombination 2-2 verläuft die Basilaris dreimal geradlinig, siebenmal rechtskonvex, einmal s-förmig und einmal wie ein umgekehrtes S. Einmal linkskonvex und einmal s-förmig fällt das Bild der Kombination 2-3 aus. Schliesslich findet man bei der noch ausstehenden Kombination 3-1 einmal einen geradlinigen und einmal einen linkskonvexen Verlaufstyp.

Tabelle 3: Häufigkeit der verschiedenen Varianten der A. basilaris insgesamt und in Beziehung zu den Verteilungsmustern des Kontrastmittelstromes (Die Symbole erscheinen seitenverkehrt, da man auf dem Röntgenfilm den gegenüberstehenden Patienten betrachtet)

Komb.	geradl. 	rechtsk. (	linksk.)	s-förm. S	umg.-s 2	Anz.
1-1	4	5	2	-	-	11
1-2	3	4	5	1	-	13
1-3	-	1	-	-	-	1
2-1	3	6	3	-	-	12
2-2	3	7	6	1	1	18
2-3	-	-	1	1	-	2
3-1	1	-	1	-	-	2
n	14	23	18	3	1	59
%	23,73	38,98	30,51	5,08	1,69	

4. Beschreibung der röntgenanatomischen Verhältnisse und der Kontrastmitteldichte bei den verschiedenen Formen der A. basilaris

Die im folgenden beschriebenen röntgenanatomischen Daten und die Angaben über die relative Dichte des Kontrastmittels in den Gefäßen sind in den Tabellen 4 und 5 niedergelegt.

Eine zeichnerische Darstellung der Dichteabnahmen ist in der Abbildung 7 und 8 wiedergegeben.

- Geradliniger Verlauf der A. basilaris: Die Gefäßdurchmesser betragen für die linke hintere Hirnarterie durchschnittlich 2,54 mm und für die rechte 2,58 mm. Das Lumen der Basilaris misst gemittelt 3,26 mm, das des letzten Abschnittes der A. vertebralis links 4,35 mm und rechts 4,22 mm. Der von der A. basilaris und jeweils einer Vertebralis gebildete Mündungswinkel beträgt linksseitig 61° und rechtsseitig 77° im Durchschnitt.

Ausgehend von einer Kontrastmitteldichte von 100 % im letzten Abschnitt der A. vertebralis wird die Dichte in den nachgeschalteten Gefäßen relativ dazu angegeben.

In der linken Aufnahmeserie können in der Basilaris noch 69,18 %, in der linken hinteren Hirnarterie noch 27,56 % und in der rechten noch 27,51 % nachgewiesen werden. Die rechte Aufnahmeserie lässt in der Basilaris 63,68 %, in den hinteren Hirnarterien linksseitig 34,41 % und rechtsseitig 33,73 % der Ausgangsdichte erkennen.

- Linkskonvexer Verlauf der A. basilaris: Die Gefäßdurchmesser der Aa. cerebri posteriores betragen links 2,71 mm und rechts 2,50 mm. Der Innendurchmesser

der Basilaris beläuft sich auf 3,45 mm. Die Vertebralarterien sind links 4,46 mm und rechts 4,42 mm stark. Die Vertebrales münden linksseitig in einem Winkel von 54° und rechts von 74°.

Die Kontrastmitteldichte fällt in der linken Bildserie in der Basilaris auf 54,03 % und in den hinteren Hirnarterien links auf 25,24 % und rechts auf 27,54 % ab. Die rechte Serie zeigt in der Basilaris 72,85 % und in den Aa. cerebri posteriores links 28,66 % und rechts 37,77 % des Ausgangswertes.

- Rechtskonvexer Verlauf: Hier sind die Innendurchmesser der Aa. cerebri posteriores linksseitig 2,48 mm und rechtsseitig 2,43 mm stark. Die Weite der A. Basilaris wird zu 3,30 mm bestimmt. Die Durchschnittswerte der Vertebralisdurchmesser betragen links 4,53 mm und rechts 4,17 mm.

Die Werte für die Mündungswinkel lauten links 69° und rechts 68°.

Der Abfall der Kontrastmitteldichte beläuft sich für die linke Aufnahmeserie in der Basilaris auf 64,54 % und in den Posteriores links 33,16 % und rechts 37,35 %. Die rechte Serie lässt in der Basilaris noch 64,09 % und in der Posterior links 29,53 % und in der Posterior rechts 32,89 % erkennen.

- S-förmig gekrümmter Verlauf: Die drei Fälle weisen folgende Durchschnittswerte auf; für den Durchmesser der Posteriores links 2,97 mm, rechts 3,10 mm; für die Basilaris 3,27 mm und für die Vertebralarterien links 4,33 mm und rechts 4,00 mm. Der Mündungswinkel der Vertebrales in die Basilaris umschließt links 70° und rechts 80°.

Die Kontrastmitteldichte beträgt im Falle der linken Aufnahmeserie in der Basilaris 67,56%, in den hinteren Hirnarterien links 40,73 % und rechts 55,71 %. Die rechte Bildfolge lässt in der Basilaris 72,84 %, in den Posteriores links 8,74

% und rechts 14,92 % der ursprünglichen Dichte erkennen.

-Umgekehrt s-förmiger Verlauf: Diese Variante wird nur in einem Fall nachgewiesen. Dennoch sind hier die Werte kurz wiedergegeben. Die linke Posterior misst innen 1,8 mm, die rechte 2,3 mm, die A. basilaris 2,8 mm und die Vertebrales links 3,9 mm und rechts 2,2 mm. Links und rechts besteht ein identischer Mündungswinkel von 90° .

In der Basilaris findet sich eine relative Kontrastmitteldichte von 92,96 %, in der Posterior links 64,29 % und rechts 85,71 % für die linke Bildserie. In der rechten Serie ergaben sich Dichtewerte in der Basilaris von 88,89 % und in den hinteren Hirnarterien links von 5,56 % und rechts von 16,67 %.

Tabelle 4: Die röntgenanatomisch festgestellten Innendurchmesser der A. cerebri posteriores, der A. basilaris und der Aa. vertebrales sowie die Mündungswinkel zwischen Vertebralis und Basilaris bei den verschiedenen Formen der Basilaris.

d mm s	geradl.	rechtsk.	linksk.	s -förm.	umg.-s
Acpl	2,54	2,48	2,71	2,97	1,8
	0,50	0,62	0,70	0,59	-
Acpr	2,58	2,43	2,50	3,10	2,3
	0,43	0,59	0,65	0,51	-
Abas	3,26	3,30	3,45	3,27	2,8
	0,58	0,59	0,70	0,52	-
Avli	4,35	4,53	4,46	4,33	3,9
	0,80	0,74	0,69	0,62	-
Avre	4,22	4,17	4,32	4,00	2,2
	0,84	0,81	0,50	0,82	-
W-li	61°	69°	54°	70°	90°
	29	19	32	14	-
W-re	77°	68°	74°	80°	90°
	27	28	29	14	-

Es bedeuten: -d mm- Durchmesser in mm, -s- Standardabweichung, -Acpl- A.

cerebri posterior links, -Acpr- A. cerebri posterior rechts, -Abas- A. basilaris,
-Av- A. vertebralis, -W- Mündungswinkel und -l/li, r/re- links bzw. rechts.

Tabelle 5: Die durchschnittliche Abnahme der Kontrastmitteldichte in der A. basilaris und in den hinteren Hirnarterien, bezogen auf eine Dichte von 100 % im letzten Abschnitt der A. vertebralis.

D % s	geradl.	rechtsk.	linksk.	s-förm.	umg.-s
BasL	69,18	64,54	54,03	67,56	92,96
	25,61	21,87	16,74	31,10	-
AcplL	27,56	33,16	25,24	40,73	64,29
	21,67	23,61	16,36	16,78	-
AcprL	27,51	37,45	27,57	55,71	85,71
	16,77	24,98	23,09	30,33	-
BasR	63,68	64,09	72,85	72,84	88,89
	21,91	22,57	17,21	25,40	-
AcplR	34,41	29,53	28,66	8,74	5,56
	20,14	16,39	22,56	4,78	-
AcprR	33,73	32,89	37,77	14,92	16,67
	17,04	21,64	21,12	7,86	-

Es bedeuten: -D %- relative Kontrastmitteldichte, -s- Standardabweichung, -Bas- A. basilaris, -Acp- A. cerebri posterior, -l/r- linke/rechte Seite und -L/R- die linke/rechte Aufnahmeserie.

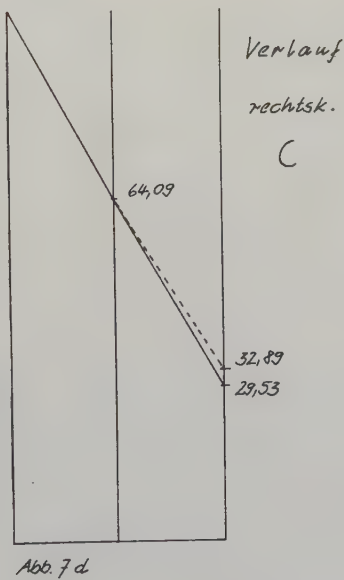
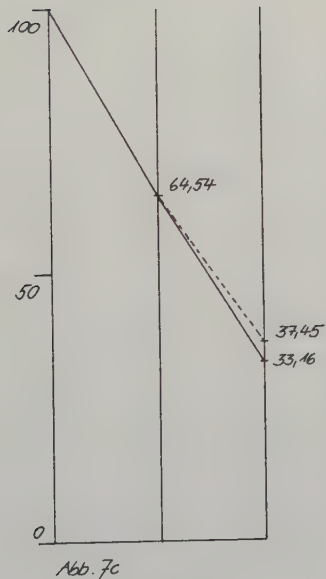
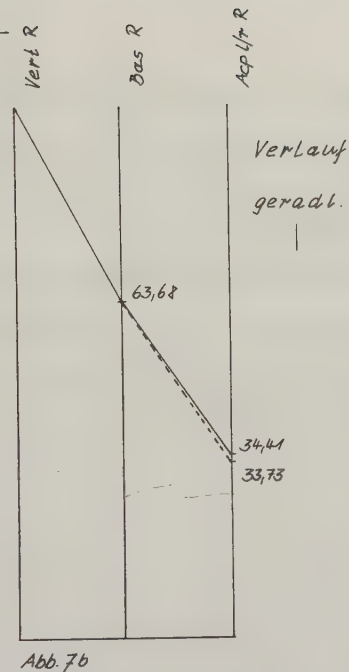
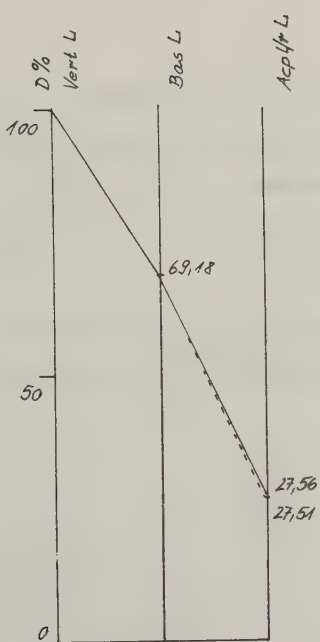


Abbildung 7 a-d: Relative Kontrastmitteldichten in der A. basilaris und in den hinteren Hirnarterien bei den verschiedenen Formen der A. basilaris. Die linke Bildhälfte zeigt die linke und die rechte Bildhälfte die rechte Aufnahmeserie. Die Dichte der linken Posterior ist mit einer durchgezogenen Linie dargestellt, die der rechten mit einer gestrichelten Linie.

Es bedeuten: -D %- relative Kontrastmitteldichte, -Vert- A.vertebralis, -Bas- A. basilaris, -Acp- A. cerebri posterior, -l/r- linke/rechte Seite und -L/R- die linke/rechte Aufnahmeserie.

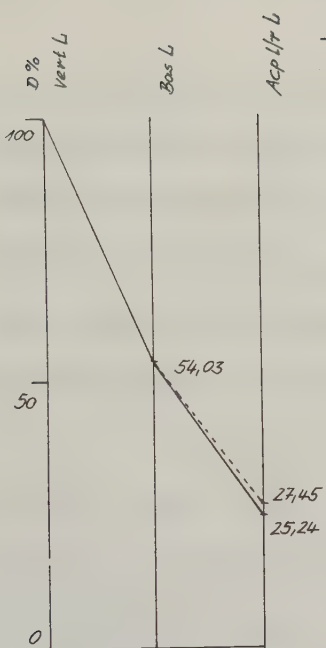


Abb. 8a

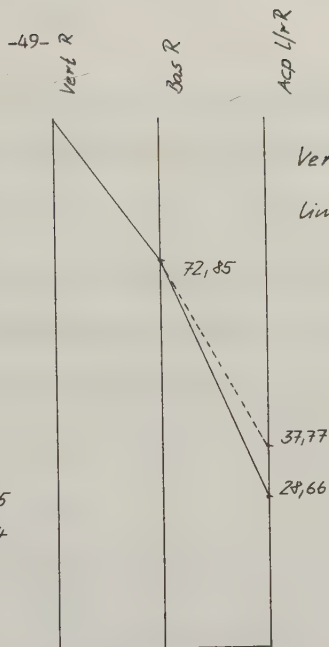


Abb. 8b

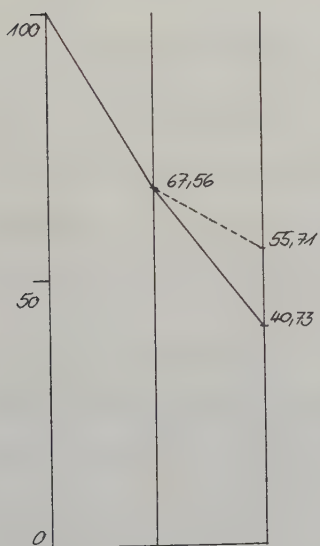


Abb. 8c

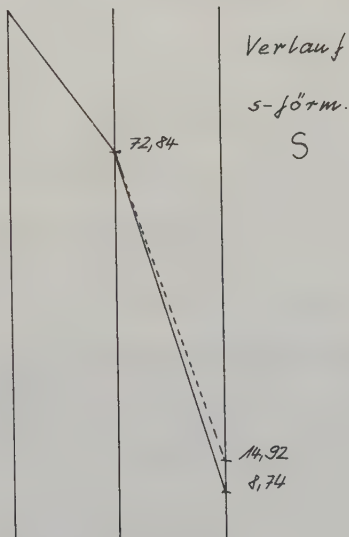


Abb. 8d

Abbildung 8 a-d: Relative Kontrastmitteldichten in der A. basilaris und in den hinteren Hirnarterien bei den verschiedenen Formen der A. basilaris. Die linke Bildhälfte zeigt die linke und die rechte Bildhälfte die rechte Aufnahmeserie. Die Dichte der linken Posterior ist mit einer durchgezogenen Linie dargestellt, die der rechten mit einer gestrichelten Linie.

Es bedeuten: -D %- relative Kontrastmitteldichte, -Vert- A. vertebralis, -Bas- A. basilaris, -Acp- A. cerebri posterior, -l/r- linke/rechte Seite und -L/R- die linke/rechte Aufnahmeserie.

5. Beschreibung der röntgenanatomischen Verhältnisse und der Kontrastmitteldichte im Vertebralisstromgebiet bei den verschiedenen Verteilungsmustern des Kontrastmittelflusses

- Verteilungsmuster 1-1: Bevorzugte Durchströmung der linken hinteren Hirnarterie in beiden Aufnahmeserien. Die Posteriores messen innen linksseitig 2,61 mm, rechtsseitig 2,17 mm. Der Innendurchmesser der A. basilaris beläuft sich auf durchschnittlich 3,17 mm, derjenige der Vertebralis links auf 4,41 mm und rechts auf 4,24 mm. Die linke Vertebralis mündet in einem Winkel von 65° in die Basilaris, die rechte in einem von 71°.

Ausgehend von einer Kontrastmitteldichte von 100 % in den Vertebrales werden in der linken Aufnahmeserie noch 61,28 % in der Basilaris, 33,89 % in der linken und 24,24 % in der rechten hinteren Hirnarterie nachgewiesen. Die rechte Bildserie lässt in der Basilaris 67,31 % und in den Posteriores links 37,57 %, rechts 25,27 % der ursprünglichen Dichte erkennen.

- Verteilungsmuster 1-2: Die linksseitige Serie zeigt die linke Posterior besser beschickt, die rechtsseitige hingegen die rechte Posterior besser mit Kontrastmittel gefüllt. Die Werte für die Innendurchmesser lauten für die linke Posterior 2,93 mm, für die rechte 2,83 mm und für die Basilaris 3,45 mm. Die Vertebralarterien sind links durchschnittlich 4,62 mm und rechts 4,49 mm stark. Sie münden in einem Winkel von 64° links und von 70° rechts in die Basilaris.

In der linken Aufnahmeserie findet man in der Basilaris eine relative Dichte von 55,44 %, eine von 34,29 % in der linken und eine von 17,80 % in der rechten Posterior. Die rechte Aufnahmeserie zeigt für die Basilaris noch 66,03 %, für die

linke Posterior 17,95 % und 35,99 % Dichte für das rechte Gefäß an.

- Verteilungsmuster 1-3: In diesem einen Fall wird in der linken Serie die linke Posterior bevorzugt gefüllt, in der rechten hingegen kann kein Unterschied zwischen den beiden Arterien hinsichtlich der Kontrastmitteldichte gefunden werden. Die Posteriores sind links und rechts je 1,5 mm, die Basilaris 3,8 mm und die Vertebrales links und rechts je 3,5 mm stark. 70° beträgt der linke und 60° der rechte Mündungswinkel zur Basilaris.

Die linke Bildserie lässt in der Basilaris 52,00 %, in der Posterior links 32,00 % und rechts 28,00 % der ursprünglichen Dichte erkennen. In der rechten Serie besteht in der Basilaris eine Dichte von 29,03 % und in den Posteriores links und rechts von 9,86 %.

- Verteilungsmuster 2-1: Das heisst, die linke Aufnahmeserie ergibt eine bessere Füllung der rechten Posterior, die rechte Serie zeigt die linke Arterie besser gefüllt. 2,29 mm links und 2,61 mm rechts betragen die Innendurchmesser der Posteriores, 3,34 mm der Basilaris und links 4,58 mm, rechts 4,15 mm der Vertebralarterien. Deren Mündungswinkel belaufen sich links auf 70° und rechts auf 72°.

67,27 % der Vertebralisdichte findet man in der Basilaris, 22,37 % in der rechten und 40,07 % in der linken Posterior bei Auswertung der linken Aufnahmeserie. Die rechte Serie ergibt für die Basilaris einen Wert von 72,15 %, für die linke Posterior von 40,35 % und für die rechte von 27,61 %.

- Verteilungsmuster 2-2: Die rechte hintere Hirnarterie ist in den Bildern beider Serien gegenüber der linken bevorzugt mit Kontrastmittel beschickt. Die anatomischen Befunde lauten bezüglich der Innendurchmesser der Gefässe: Die Poste-

riores sind links 2,31 mm und rechts 2,52 mm stark. Die Basilaris weist einen Durchmesser von 3,29 mm auf. Die Vertebralis links misst 4,40 mm und rechts 4,17 mm im Durchschnitt. Sie stossen mit einem Winkel von 60° rechts und 76° links auf die A. basilaris.

Die linke Serie zeigt, dass in der Basilaris 68,09 %, in den Posteriores links 30,69 % und rechts 41,17 % der in der Vertebralis gegebenen Dichte vorhanden sind. Die rechte Bildfolge ergibt in der Basilaris 67,29 %, in den Posteriores links 24,51 % und rechts 44,79 % der vormaligen Dichte.

- Verteilungsmuster 2-3: Im Gegensatz zur rechten Aufnahmeolge, die ausgeglichen in Bezug auf die Kontrastmitteldichte in den Posteriores gefunden wird, kommt es in der linken Serie zur Bevorzugung der rechten hinteren Hirnarterie. Die Gefässdurchmesser betragen 2,35 mm für die linke, 2,55 mm für die rechte Posterior, 3,50 mm für die Basilaris, 4,15 mm für die linke und 3,60 mm für die rechte Vertebralis. Der Mündungswinkel beschreibt links 60° und rechts 75°.

Die Kontrastmitteldichte der Vertebralis wird in der linken Aufnahmeserie in der Basilaris auf 63,65 %, in den Posteriores links auf 26,25 %, rechts auf 48,39 % vermindert. In der rechten Folge lassen sich in der Basilaris 73,74 % und in den Posteriores links und rechts noch je 7,10 % nachweisen.

- Verteilungsmuster 3-1: Die linke Bildserie lässt in den Posteriores keinen Dichteunterschied des Kontrastmittels erkennen. In der rechten Serie hingegen stellt sich die linke hintere Hirnarterie bevorzugt gefüllt dar. Links und rechts sind die Posteriores 2,30 mm, die Basilaris 3,25 mm und die Vertebrales links 4,90 mm und rechts 3,15 mm stark. Der Mündungswinkel links beträgt 35°, rechts ist er 90° gross.

In der A. basilaris lassen sich 57,04 % der in der linken Serie in der Vertebralis registrierten Kontrastmitteldichte nachweisen. In den hinteren Hirnarterien findet man links und rechts je 27,44 %. Hingegen zeigt die rechte Bildfolge in der Basilaris 65,87 % und in den Posteriores links 56,20 % und rechts 31,36 % der in der Vertebralis anflutenden Kontrastmitteldichte.

Die oben aufgeführten Untersuchungsergebnisse sind in den Tabellen 6 und 7 festgehalten.

Die graphische Darstellung der Kontrastmitteldichteverhältnisse erfolgt in den Abbildungen 9 bis 11.

Tabelle 6: Die Innendurchmesser der Aa. cerebri posteriores, der Basilaris und der Vertebrales und die Mündungswinkel zwischen den Vertebrales und der Basilaris bei den unterschiedlichen Verteilungsmustern des Kontrastmittelflusses.

d mm s	Acpl	Acpr	Abas	Avli	Avre	W-li	W-re
1-1	2,61	2,17	3,17	4,41	4,24	65	71
	0,64	0,47	0,72	0,95	0,80	24	14
1-2	2,93	2,83	3,45	4,62	4,49	64	70
	0,76	0,71	0,74	0,73	0,65	31	35
1-3	1,5	1,5	3,8	3,5	3,5	70	60
	-	-	-	-	-	-	-
2-1	2,79	2,61	3,34	4,58	4,15	70	72
	0,41	0,46	0,58	0,53	0,71	21	25
2-2	2,31	2,52	3,29	4,40	4,17	60	76
	0,41	0,45	0,64	0,83	0,81	27	31
2-3	2,35	2,55	3,50	4,15	3,60	60	75
	-	-	-	-	-	-	-
3-1	2,30	2,30	3,25	4,90	3,15	35	90
	-	-	-	-	-	-	-

Es bedeuten: -d mm- Durchmesser in mm, -s- Standardabweichung, -Acpr- A.cerebri posterior, -Abas- A.basilaris, -Av- A. vertebralis, -W- Mündungswinkel in Grad und -l/r- bzw. -li/re- die jeweilige Seite.

Tabelle 7: Die durchschnittliche Abnahme der Kontrastmitteldichte in der A. basilaris und in den Aa. cerebri posteriores, bezogen auf eine Dichte von 100 % im letzten Abschnitt der A.vertebralis bei den unterschiedlichen Verteilungsmustern des Kontrastmittelflusses.

D % s	BasL	AcplL	AcprL	BasR	AcplR	AcprR
1-1	61,28	33,98	24,24	67,31	37,57	25,27
	25,09	24,74	19,95	13,43	12,21	12,04
1-2	55,44	34,29	17,80	66,03	17,95	35,99
	24,74	17,75	10,36	19,30	12,29	18,18
1-3	25,00	32,00	28,00	29,03	9,68	9,68
	-	-	-	-	-	-
2-1	67,27	22,73	40,07	72,15	40,35	27,61
	20,93	15,09	23,73	20,04	19,44	13,32
2-2	68,09	30,69	41,17	67,82	24,51	44,79
	20,05	25,22	27,24	26,07	19,18	24,28
2-3	63,65	26,25	48,39	73,74	7,10	7,10
	-	-	-	-	-	-
3-1	57,04	27,44	27,44	65,87	56,20	31,36
	-	-	-	-	-	-

Es bedeuten: -D %- relative Kontrastmitteldichte, -s- Standardabweichung, -Bas- A. basilaris, -Acp- A. cerebri posterior, -l/r- linke/rechte Seite und -L/R- die linke/rechte Aufnahmeserie.

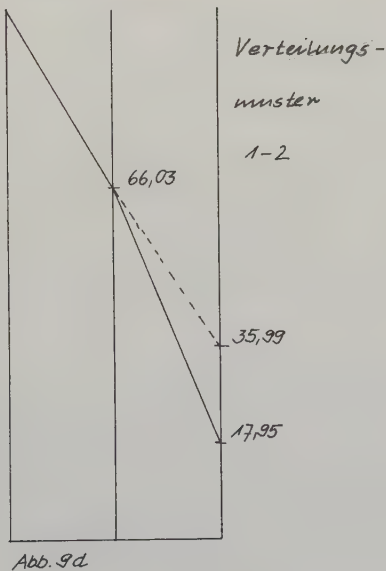
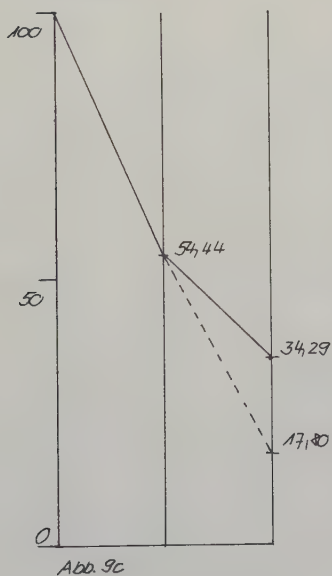
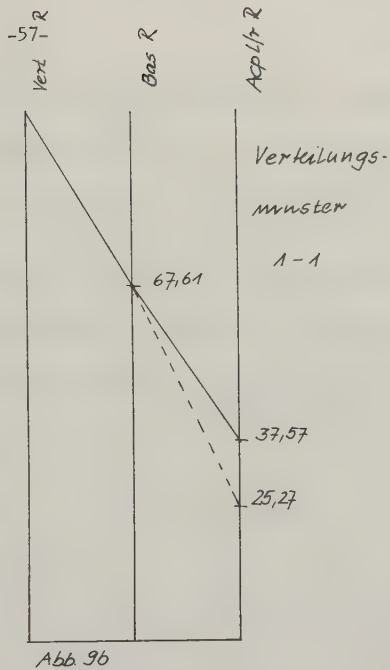
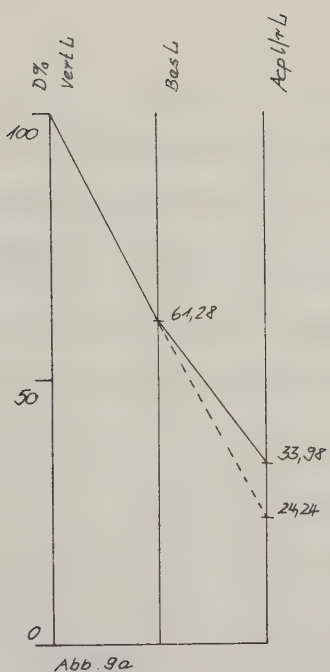


Abbildung 9 a-d: Relative Kontrastmitteldichten in der A. basilaris und in den hinteren Hirnarterien bei den unterschiedlichen Verteilungsmustern des Kontrastmittelflusses. Die linke Bildhälfte zeigt die linke und die rechte Bildhälfte die rechte Aufnahmeserie. Die Dichte in der linken Posterior ist mit einer durchgezogenen Linie dargestellt, die der rechten mit einer gestrichelten Linie. Es bedeuten: -D %- relative Kontrastmitteldichte, -Vert- A. vertebralis, -Bas- A. basilaris, -Acp- A. cerebri posterior, -l/r- linke/rechte Seite und -L/R- die linke/rechte Aufnahmeserie.

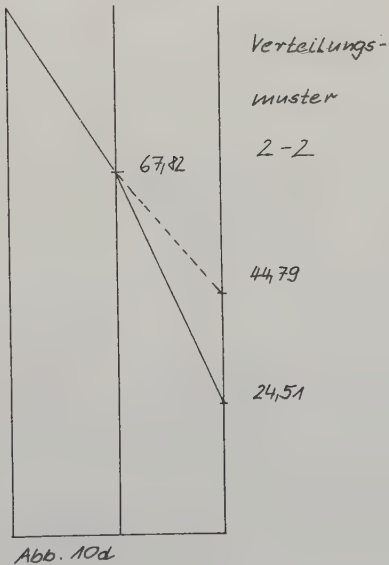
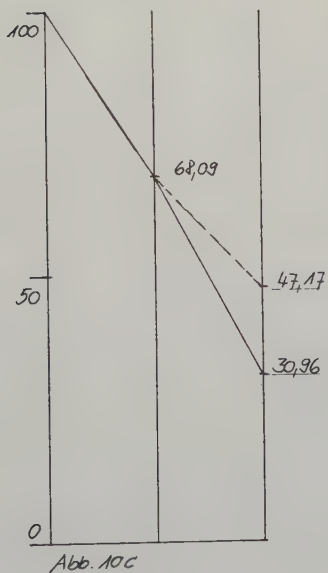
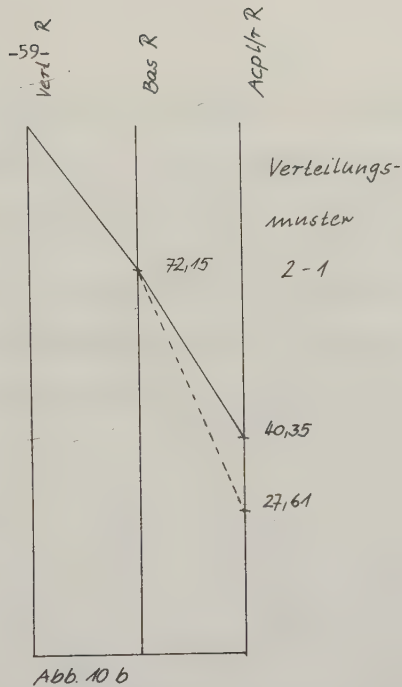
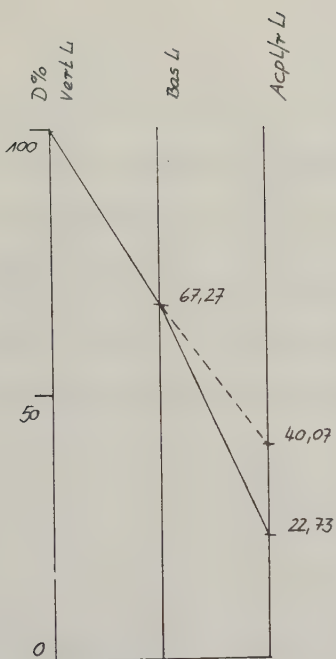


Abbildung 10 a-d: Relative Kontrastmitteldichten in der A. basilaris und in den hinteren Hirnarterien bei den unterschiedlichen Verteilungsmustern des Kontrastmittelflusses. Die linke Bildhälfte zeigt die linke und die rechte Bildhälfte die rechte Aufnahmeserie. Die Dichte in der linken Posterior ist mit einer durchgezogenen Linie dargestellt, die der rechten mit einer gestrichelten Linie. Es bedeuten: -D %- relative Kontrastmitteldichte, -Vert- A. vertebralis, -Bas- A. basilaris, -Acp- A. cerebri posterior, -l/r- linke/rechte Seite und -L/R- die linke/rechte Aufnahmeserie.

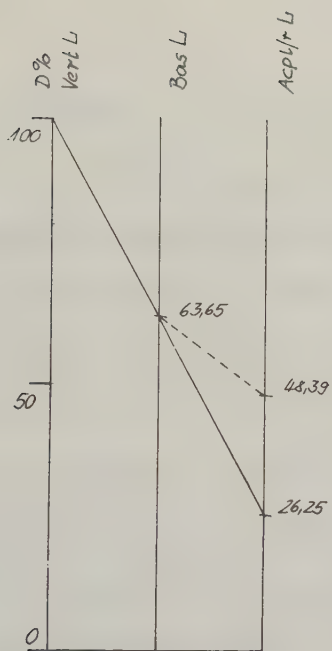


Abb. 11a

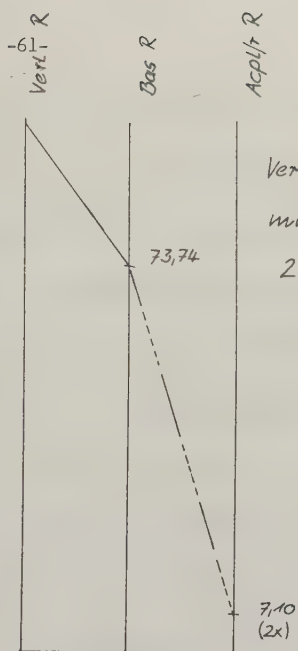


Abb. 11b

Verteilungs-
muster
2-3

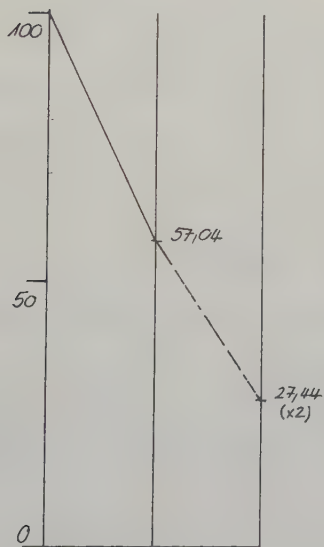


Abb. 11c

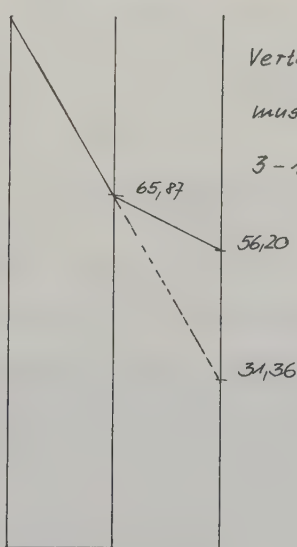


Abb. 11d

Verteilungs-
muster
3-1

Abbildung 11 a-d: Relative Kontrastmitteldichten in der A. basilaris und in den hinteren Hirnarterien bei den unterschiedlichen Verteilungsmustern des Kontrastmittelflusses. Die linke Bildhälfte zeigt die linke und die rechte Bildhälfte die rechte Aufnahmeserie. Die Dichte in der linken Posterior ist mit einer durchgezogenen Linie dargestellt, die der rechten mit einer gestrichelten Linie. Es bedeuten: -D %- relative Kontrastmitteldichte, -Vert- A. vertebralis, -Bas- A. basilaris, -Acp- A. cerebri posterior, -l/r- linke/rechte Seite und -L/R- die linke/rechte Aufnahmeserie.

VIII. Diskussion

1. Diskussion von Material und Methode

Wie weiter oben besprochen wurde mussten die ausgewählten Angiographieserien verschiedene Voraussetzungen erfüllen, damit sie zur Auswertung herangezogen werden konnten.

So war festgelegt, nur angiographisch unauffällige Befunde zu verwerten, um pathologische Einflüsse auf die zerebrale Durchblutung, gegeben zum Beispiel durch Gefässobliterationen, ausschliessen zu können. Die Angiographien wurden von einem Untersucher durchgeführt. Die linken und rechten Bildserien sollten miteinander zu vergleichen sein.

Nach dem dargelegten Verfahren wurden die Röntgenfilme vermessen. An festgelegten Punkten wurden die röntgenanatomischen Daten wie die Gefässdurchmesser erhoben und auch die Schwärzung des Röntgenfilmes densidometrisch festgehalten.

Die dabei zugrunde liegenden Unwägbarkeiten und die möglichen Fehlerquellen sollen im folgenden kurz erörtert werden.

Die Vorschrift, neuroradiologisch unauffällige Befunde zu verwerten, wurde eingehalten. Hier muss jedoch bedacht werden, dass für die Angiographie stets eine Indikation gegeben war. Der untersuchte Patient zeigte also klinische Zeichen, die diese Untersuchung rechtfertigten. Dieser klinischen Symptomatik können möglicherweise Ursachen zugrunde liegen, die sich der Darstellung im Angio-

gramm entziehen und dennoch Einfluss auf den zerebralen Blutfluss nehmen können wie zum Beispiel aufgrund eines erhöhten intrazerebralen Druckes.

Einige Probleme bringt auch die Forderung nach der Vergleichbarkeit der rechten und linken Bildserie mit sich. Es ist schwierig, aus den Aufnahmen den genauen Zeitpunkt ihres Entstehens herauszulesen. Zwar hat eine bestimmte Aufnahme ihren festen Platz innerhalb einer gegebenen Serie, aber der Moment der Belichtung ist durch die Geschwindigkeit des Wechslers bestimmt. Beim Vergleich dieser Aufnahme mit der der kontralateralen Serie ergibt sich einmal ein Fehler dadurch, dass der Filmwechsel nicht zum exakt gleichen Zeitpunkt nach der Kontrastmittelinjektion einsetzt, und zum anderen in der noch zu erörternden Injektionsgeschwindigkeit des Kontrastmittels. Der Ablauf des Aufnahmeproganges der verschiedenen Serien, also vom Zeitpunkt der Injektion bis zum Einsetzen und Wechseln der Filmkassetten, kann nur bedingt miteinander verglichen werden.

Ein weiteres Problem stellt sich bei Betrachtung des Injektionsvorganges des Kontrastmittels dar. Ein Unsicherheitsfaktor kommt durch den Untersucher selbst zum Tragen. Da die Kontrastmitteleinspritzung nicht durch einen Perfusor erfolgt, sondern vom Untersucher selbst vorgenommen wird, ist zwar bei Beibehalten desselben Untersuchers eine Standardisierung gesichert, aber dennoch besteht die Möglichkeit, dass in den verschiedenen Serien schneller oder langsamer injiziert wird.

Nicht nur eine unterschiedliche Injektionsgeschwindigkeit muss bei der Betrachtung der Ergebnisse berücksichtigt werden, sondern auch die Physiologie des Kreislaufsystemes. Bei einem angenommenen Herzzeitvolumen von 5,4 l/min

werden in der Sekunde zirka 90 ml Blut in die Aorta ausgeworfen. Die Fließgeschwindigkeit in der Hauptschlagader beträgt im Mittel 22,5 cm/sec. Mit zunehmender Aufteilung in die mittleren und kleinen Arterien nimmt diese auf 1,4 cm/sec in den kleinsten Gefäßen ab (40). Nach dem Gesetz von Hagen-Poiseuille $\bar{v} = \frac{\Delta P \times r^2}{8 \times \eta \times l}$ für die Strömungsgeschwindigkeit bei laminaren Strömungen errechnet sich die Stromstärke $\dot{V}$ mit $\dot{V} = \bar{v} \times \pi \times r \times r$ zu $V = \frac{\pi \times r^4}{8 \times \eta \times l} \times \Delta P$ (35). Betrachtet man die links und rechts unterschiedlichen Abgangsverhältnisse der Vertebralarterien, so kommt man unter Berücksichtigung der verschiedenen Lumina zu dem Schluss, dass in den Gefäßen nicht unbedingt gleiche Stromstärken anzutreffen sind. Nach dem oben gesagten müssen also schon in den Vertebrales unterschiedliche Strömungsverhältnisse angenommen werden. Dadurch wird die Bezugnahme auf eine einheitliche Ausgangsposition erschwert.

Schliesslich ist das Verhalten des Patienten selbst während der Untersuchung als einflussnehmender Faktor anzuführen. So besteht zu Beginn der Angiographie, trotz eventueller Praemedikation und lokalanaesthetischer Vorbereitung der Gefässpunktion, ein erhöhter Sympathikotonus, der für eine Zunahme des Herzzeitvolumens verantwortlich ist und die Stromstärke in den Gefäßen beeinflusst. Ist eine Aufnahmeserie abgeschlossen und kommt die zweite Seite zur Darstellung, so kann man dem Patienten eine Eingewöhnung in die Untersuchungssituation unterstellen und damit eine Beruhigung mit entsprechend veränderten Kreislaufverhältnissen.

Die Auswertung der Röntgenfilme erfolgte mit einem Densidometer. Die opti-

sche Dichte des Kontrastmittels im untersuchten Gefäss kommt in der Schwärzung des Röntgenfilmes am Messpunkt zum Ausdruck. Es ergeben sich verschiedene Fehlermöglichkeiten bei der Auswertung. Die gefundenen Werte wurden untergrundkorrigiert, das heisst, die optische Dichte der Schädelkalotte und der umgebenden Weichteile am Messpunkt wurde bei der Berechnung der Kontrastmitteldichte im Gefässlumen durch Subtraktion berücksichtigt. Die Dichte der Schädelknochen und -weichteile ergab sich aus der Messung an der Nativaufnahme ohne Kontrastmittel. Hier besteht die Möglichkeit, beim Übertragen der Messpunkte auf diese Aufnahme Ungenauigkeiten zu begehen.

Hinzu kommt, dass der Strom des Kontrastmittels mit der Pulsquelle in den Vertebralarterien herangetragen wird. Trotz kontinuierlicher Injektion werden wellenförmig kleine Kontrastmittelboli angeschwemmt, die sich anfangs durch eine hohe Dichte auszeichnen, die aber ständig geringer wird. Die Schwierigkeit, der man begegnen muss, besteht darin, dieses "Loch" im Kontrastmittelstrom zu erkennen und nicht zur Dichtemessung heranzuziehen.

2. Diskussion der einzelnen Ergebnisse

Ausgehend von den Überlegungen Haverlings (12), der den Verlauf der A. basilaris näher untersuchte und zu dem Ergebnis kam, dass dieser beeinflusst wird von der Differenz des Blutflusses zwischen der rechten und linken Vertebralarterie - ausgedrückt durch den Unterschied der Vertebralisdurchmesser - und von deren Mündungswinkel in die Basilaris, wurden die Röntgenfilme nach den unterschiedlichen Formen der Basilaris geordnet und die Durchströmung der Aa. cerebri posteriores untersucht.

Am häufigsten fand sich ein rechtskonvexer Verlauf (38,98%), gefolgt von einem linkskonvexen (30,51%) und schliesslich dem geradlinigen Verlauf (23,73%). Eine untergeordnete Rolle spielten der s-förmige (5,08%) und umgekehrt s-förmige Verlauf (1,69%).

- In der rechtskonvexen Verlaufsform fand sich linksseitig der grössere Vertebralisdurchmesser (li: 4,53mm; re: 4,17mm). Die Mündungswinkel sind annähernd symmetrisch (je ca. 69°). Nach Haverling (12) erwartet man links den grösseren Durchmesser der A. cerebri posterior. Die ermittelten Werte (li: 2,48mm; re: 2,43mm) zeigen jedoch keine im Sinne dieser Aussage verwertbare Differenz. Betrachtet man die Abnahme der Kontrastmitteldichte, bezogen auf den Ausgangswert 100% in den Vertebrales, so ist sie in den Basilares in den linken und rechten Bildserien nicht unterscheidbar (64,54%; 64,09%) und zeigt in beiden Serien eine leichte Bevorzugung der rechten Posteriores (li Serie: 37,45%, 33,16%; re. Serie: 32,98%, 29,53%). Die Aussagekraft dieses Ergebnisses ist jedoch nur schwach. Haverling (12) nimmt an, dass der Blutstrom die Gefässe bevorzugt,

die gegenüber der anderen Seite den grösseren Durchmesser aufweisen. Zu dieser Annahme kann nach den o.g. Resultaten keine sichere Stellungnahme abgegeben werden.

- Im Falle der linkskonvexen Verlaufsform findet man ebenfalls linksseitig den grösseren Vertebralisdurchmesser (li: 4,46mm; re: 4,32mm). Die Arterie mündet rechts im weiteren Winkel zur Medianen (li: 54°; re: 74°). Die linke Posterior ist von grösserem Innendurchmesser als die rechte (li: 2,71mm; re: 2,50mm). Die Basilaris wird in der rechten Aufnahmeserie besser mit Kontrastmittel beschickt als in der linken (li: 54,03%; re: 72,85%). In beiden Serien zeigt sich eine Tendenz, die rechte Posterior bevorzugt mit Kontrastmittel zu beschicken (li. Serie: 27,54%, 25,24%; re. Serie: 37,77%, 28,66%). Auf den ersten Blick scheint sich hier ein Widerspruch zu den Annahmen Haverlings (12) zu ergeben. Da die festgestellten Unterschiede in einem weiten Bereich streuen, kann dieser Widerspruch nicht bekräftigt werden.

- Der Vertebralisdurchmesser ist im Falle des geradlinigen Verlaufes der A. basilaris links grösser als rechts (li: 4,32mm; re: 4,22mm). Der Mündungswinkel ist rechts grösser als links (li: 61°; re: 77°). Die rechte A. cerebri posterior weist den grösseren Durchmesser auf (li: 2,54mm; re: 2,58mm). Die Kontrastmitteldichte in der Basilaris fällt in der linken Serie höher aus als in der rechten (li: 69,10%; re: 63,68%). Die Kontrastmitteldichte in den Posteriores weist im Vergleich der beiden Serien keinen verwertbaren Unterschied auf (li. Serie: 27,56%, 27,51%; re. Serie: 34,41%, 33,73%). Auch hier kann aufgrund der Unsicherheit der Ergebnisse keine sichere Aussage über den Kontrastmittelfluss gemacht werden.

- Für die s-förmigen bzw. umgekehrt s-förmigen Verlaufsformen kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die in den Tabellen 4 und 5 niedergelegten Untersuchungsergebnisse zu dem gleichen Schluss wie im Falle der anderen, oben beschriebenen Basilarisformen führen. Aufgrund der Unsicherheit und breiten Streuung bei den einzelnen Werten kann man keine Schlussfolgerungen in bezug auf den Kontrastmittelfluss ziehen.

Somit ist abschliessend festzustellen, dass sich bei Betrachtung der röntgenanatomischen Befunde und der Messung der Kontrastmitteldichte in den einzelnen Arterien keine Aussagen über den Kontrastmittelstrom bei den verschiedenen Verlaufsformen der A. basilaris machen lassen.

Die statistische Auswertung der Werte ergab keine positiven Korrelationen zwischen röntgenanatomischen Befunden und Dichteabnahmen bei Berücksichtigung der Basilarisformen. Der t-Test für unverbundene Wertepaare ergab keine Signifikanz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Dieses Ergebnis führt zu dem Schluss, dass die Strömungsverhältnisse in den hinteren Hirnarterien bei den verschiedenen Verlaufsformen der A. basilaris mit der gegebenen Methodik nicht beurteilt werden können.

Weiterhin wurden die Aufnahmeserien nach dem oben beschriebenen Verteilungsmuster des Kontrastmittelstromes in den hinteren Hirnarterien geordnet, ohne dabei anatomische Strukturen als Auswahlkriterium zu verwenden. Bei der Auswertung der in den Tabellen 6 und 7 niedergelegten Befunde der röntgenanatomischen Verhältnisse und der relativen Kontrastmitteldichte im Vertebralisstromgebiet zeigen sich die gleichen Schwierigkeiten wie bei der Untersuchung

der verschiedenen Basilarisformen, versucht man, die Ergebnisse in Beziehung zu den Verteilungsmustern des Kontrastmittelstromes zu setzen. Die einzelnen Verteilungsmuster lassen sich zwar beschreiben und mit Hilfe der Messung der optischen Dichte über den kontrastmittelgefüllten Gefäßen qualitativ erfassen, aber es gelingt nicht, diesen Beobachtungen sicher anatomische Strukturen zuzuordnen, die für ihr Auftreten verantwortlich sein können.

Es ergeben sich bei einer statistischen Auswertung der Befunde unter Berücksichtigung der verschiedenen Verteilungsmuster des Kontrastmittelstromes in den hinteren Hirnarterien keine positiven Korrelationen zwischen den röntgenanatomischen Befunden und den Kontrastmitteldichten in den Gefäßen. Auf dem Niveau einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % lässt sich keine statistische Signifikanz nachweisen, wird der t-Test für unverbundene Wertepaare angewendet.

Mit der gegebenen Methode der Messung der optischen Dichte in den Gefäßen und der Gegenüberstellung der röntgenanatomischen Befunde lassen sich die Bedingungen für die Entstehung der Verteilungsmuster des Kontrastmittelstromes nicht angeben. Die tatsächlich zum Zeitpunkt der Entstehung einer Aufnahme im jeweiligen Gefäß bestehenden Strömungsverhältnisse lassen sich somit nicht beschreiben. Hierfür sind andere Untersuchungsmethoden einzusetzen, wie z.B. invasive Untersuchungsverfahren analog zu dem Einlegen eines Swan-Ganz-Katheters in eine A. pulmonalis, der eine Messung des durchströmenden Volumens mittels Thermodilution erlaubt.

IX. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt kurz die Entwicklung der Vertebralisangiographie, ihre Techniken sowie die anatomischen Gegebenheiten der Vertebralisverbindung. Zudem wird auf die Physiologie der Hirndurchblutung eingegangen.

Das Ziel der Untersuchung war es, auf eine besondere Verteilung des Kontrastmittelstromes in den hinteren Hirnarterien bei Vertebralisangiographien einzugehen. Dieses besondere Verhalten besteht darin, dass bei der Angiographie einer Vertebralis eine uneinheitliche Kontrastmittelanreicherung in den Aa. cerebri posteriores vorkommen kann. Es zeigen sich symmetrische und asymmetrische Verteilungsmuster des Kontrastmittelstromes. Diese Verteilungsmuster sollten untersucht und mögliche Ursachen dafür angegeben werden.

Aus 430 Serienangiographien der Neuroradiologischen Abteilung der Psychiatrischen Klinik der Universität München wurden 59 Bildserien ausgewählt, die keine pathologischen Befunde aufweisen durften.

Bei diesen Aufnahmen wurde zunächst der Kontrastmittelfluss in den Posteriores in Abhängigkeit von den verschiedenen Formen der A. basilaris untersucht. Dabei zeigte sich kein Zusammenhang zwischen den anatomischen Verhältnissen an der Vertebralisverbindung und der densidometrisch festgehaltenen Verteilung des Kontrastmittelflusses auf die Posteriores.

Die Beschreibung der einzelnen Verteilungsmuster zeigte folgendes Bild: Bei jeweiliger Betrachtung der linken und rechten Bildserie kam es in 30,51 % der Fälle zu einer besser mit Kontrastmittel gefüllten rechten Posterior, in 18,64 % zu einer besseren Füllung in der linken Posterior. In 22,03 % zeigte die linke

Serie die linke Posterior, hingegen die rechte Serie die rechte Posterior besser gefüllt. In 20,34 % der Fälle kam es in der linken Bildfolge zur besseren Füllung der rechten, aber in der rechten Serie der linken Posterior. In 3,39 % wurde links die rechte Posterior bevorzugt; rechts bestand eine gleichmässige Füllung. Ein identischer Füllungsgrad in der linken Serie und eine Bevorzugung der linken Posterior in der rechten Serie konnte in 3,39 % festgestellt werden. In 1,69 % der Fälle kam die linke Posterior der linken Seite besser zur Darstellung, während in der rechten Serie kein Unterschied in der Kontrastmittelfüllung beider Posteriores erkennbar war. Es zeigte sich bei der Auswertung der röntgenanatomischen Ergebnisse kein statistischer Zusammenhang zwischen der Gefässarchitektur der Vertebralisverbindung und den jeweiligen Verteilungsmustern des Kontrastmittelflusses.

Die röntgenanatomischen Befunde und die Untersuchung der Kontrastmitteldichte im Vertebralisstromgebiet geben keine Erklärung für die verschiedenen Verteilungsmuster des Kontrastmittelstromes in den hinteren Hirnarterien. Diese Verteilung scheint eher zufällig zu sein.

X. Literaturverzeichnis

1. Alpers B.J., Anatomical studies of the circle of Willis in normal
G.P. Berry, brain.
R.M. Paddison: Arch. Neurol. and Psych. 81, 409-418 (1959)
2. Bill A., Sympathetic control of cerebral blood flow in acute
J. Linder: arterial hypertension.
Acta Physiol. Scand. 96, 114 (1976)
3. Dassler E.H., Surgical anatomy of the subclavian artery and its
B.J. Anson: branches.
Surg. Gyn. Obst. 108, 149-174 (1959)
4. Decker K.: Perkutane Vertebralisangiographie.
Nervenarzt 22, 32-34 (1951)
5. Dilenge D., La branche méningée de l'artère vertébrale.
M. David: Neurochirurgie 8, 121-126 (1965)
6. v.d. Ecken H., The anatomy and functional significance of the me-
R.D. Adams: ningal arterial anastomoses in the human brain.
J. Neurol. and Exp. Neurol. 12, 132-157 (1953)
7. Economos D., L'artère cérébelleuse supérieure dans les tumeurs
A. Prosalentis: de la fosse postérieure.
Acta radiol. Diagn. 1, 267-277 (1963)

8. Flynn R.E.: External carotid origin of the dominant vertebral artery, case report.
J. Neurosurg. 29, 300-301 (1968)
9. Gabrielsen T.O., The pontine arteries in vertebral angiography.
P. Amundsen: Amer. J. Roentgenol. 106, 296-302 (1969)
10. Greitz T., The relationship between the third ventricle and the
S. Löfstedt: basilar artery.
Acta Radiol. 42, 85-100 (1954)
11. Greitz T., The posterior inferior cerebellar artery.
S.E. Sjögren: Acta radiol. Diagn. 1, 248-297 (1963)
12. Haverling M.: The tortuous basilar artery.
Acta radiol. Diagn. 15, 241-249 (1974)
13. Heistad D.D., Role of large arteries in regulation of cerebral
M.L. Marcus, blood flow in dogs.
F.M. Abbond: J. Clin. Invest. 62, 761 (1978)
14. Hinck V.C., Simplified selective femorocerebral angiography.
M.P. Judkins, Radiology 89, 1048-1052 (1967)
H.D. Paxton:
15. Hodes P.H., Cerebral angiography.
J. Campoy, Amer. J. Roentgenol. 70, 61 (1953)
H.E. Riggs,
P. Bly:

24. Maslowski H.A.: Vertebral angiography: percutaneous lateral atlanto-occipital method.
Brit. J. Surg. 43, 1-8 (1955)
25. v. Mitterwallner F.: Variationsstatistische Untersuchungen an den basalen Hirngefäßen.
Acta anat. 24, 51-88 (1955)
26. Moniz E.: L'encéphalographie artérielle, son importance dans la localisation des tumeurs cérébrales.
Rev. neurol. 34, 72-89 (1927)
27. Moniz E.: Diagnostic des tumeurs cérébrales et épreuve de l'encéphalographie artérielle.
Masson, Paris 1931
28. Moniz E.,
P.A. Lima,
P. Caldas:
A folmogem da circulação cerebral.
A medicina contemporanea No 3, 1933
29. Morris L.: Angiographic demonstration of the vertebral artery with special reference to percutaneous subclavian puncture.
Brit. J. Radiol. 32, 673-679 (1951)
30. Olivecrona H.: Bericht über die arteriographische Darstellung der A. vertebralis.
Zbl. Chir. 32, 1904-1905 (1935)

31. Padget D.H.: The Circle of Willis, its Embryology and Anatomy.
Comstock Ithaca, New York 1944
32. Plets C.: Quantitative anatomy of the cerebrovascular bed.
In: Cerebral blood flow, ed. by Minderhoud J.M.,
pp. 20-33, Amsterdam-Oxford-Princeton : Excerpta
Medica 1981
33. Pouyanne H., L'angiographie vertébrale par voie sous-clavière.
F. Caillon, P. Leman, Neurochirurgia (Stuttg.) 3, 35-45 (1960)
M. Got, M. Salles,
A. Gouazé:
34. Radner S.: Vertebral angiography by catheterisation: new
method employed in 222 cases.
Acta radiol. (Stockh.) Suppl. 87, 1-134 (1951)
35. Rein H., Physiologie des Menschen.
M. Schneider: S. 387-395, Berlin-Heidelberg-New York:
Springer 1977
36. Seldinger S.J.: Catheter replacement of the needle in percuta-
neous angiography.
Acta radiol. (Stockh.) 39, 368-376 (1953)
37. Shimidzu K.: Beiträge zur Arteriographie des Gehirnes - einfache
percutane Methode.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 188, 295-316 (1937)

38. Sugar O., Vertebral angiography.
L.B. Holden, Amer. J. Roentgenol. 61, 166-182 (1949)
C.B. Powell:
39. Wahl M., Micropuncture evaluation of the importance of peri-
P. Deetjen, vascular pH for the arteriolar diameter on the
K. Thureau, brain surface.
D.H. Ingvar, Pflügers Archiv 316, 152 (1970)
N.A. Lassen:
40. Wright S.: Applied Physiology.
pp. 65-80, New York-Toronto:
Oxford Medical Publication 1982
41. Yasargil M.G.: Die Vertebralisangiographie. Ihre Bedeutung für
die Diagnose der Tumoren.
Acta neurochir. (Wien) Suppl. 9 (1962)
42. Ziedses des Plantes Subtraktion.
B.G.: Fortschr. Röntgenstr. 52, 69-79 (1935)
43. Zijlstra W.G.: Physiology of the cerebral circulation.
In: Cerebral blood flow, ed. by Minderhoud J.M.,
pp. 43-47, Amsterdam-Oxford-Princeton: Excerpta
Medica 1981

Danksagung

Herrn Professor Dr. med. Kurt Decker danke ich für die Überlassung des Themas. Sein Tod beendete hart und unerwartet die stets wohlwollende und herzliche Zusammenarbeit. Sein Andenken werde ich in Ehren halten.

Herrn Professor Dr. med. Hanns Hippus, der es mir ermöglichte meine Arbeit an der Psychiatrischen Klinik der Universität fortzuführen und zum Abschluss zu bringen, gilt mein aufrichtiger Dank.

Herr Dr. med. Burkhard Kunkel hat mich bei der Fertigstellung meiner Arbeit überaus konstruktiv unterstützt. Dafür danke ich ihm sehr herzlich.

Lebenslauf

Name : Peter Alfred Eberl-Lehmann, geb. Eberl

Geburtstag/-ort : 11. Juni 1954, München

Eltern : Gerhard und Edith Eberl

Familienstand : verheiratet mit Dr. med. dent. Anikke Lehmann

Schulen : 1960-1964 Volksschule Maisach
1964-1973 mathemat.-naturw. Gymnasien in
München und Fürstenfeldbruck
Abitur 1973

Wehrdienst : 1973-1975 Sanitätsdienst und Krankenpflegeaus-
bildung

Studium : 1975-1977 Tiermedizin in München,
Tierärztliche Vorprüfung 1977
1977-1982 Medizin in München,
Approbation am 18.10.1982

Weiterbildung : Seit Dezember 1982 im Fach Anaesthesiologie
als wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für
Anaesthesiologie der Ludwig-Maximilians-Uni-
versität München (Direktor: Prof. Dr. med.
Klaus Peter).

